О. Г. Карандашов, В. Л. Авраменко, Л. П. Підгорна

Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", м. Харків, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ СКЛОПЛАСТИКОВИХ ТРУБ З РІЗНОЮ ТРАНСВЕРСАЛЬНО-ІЗОТРОПНОЮ СТРУКТУРОЮ ДЛЯ РІЗНИХ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Виявлено складнощі у проектуванні склопластикових труб з анізотропною структурою, які використовують у системах лісового, міського та сільського господарств у зв'язку з різними умовами навантаження та розподілу навантаження у повздовжньому та поперечному (кільцевому) напрямках. Зумовлено вибір отримання склопластикових труб методом косого поперечно-повздовжнього намотування, як найперспективнішого з можливістю контролювання трансверсально-ізотропної структури склопластикових виробів круглого перетину. Проаналізовано кількість наповнювача, який укладається у повздовжньому напрямку, та кількість наповнювача, який укладається у поперечному напрямку, та їх співвідношення залежно від трансверсально-ізотропної структури склопластикових труб. За результатами експериментального дослідження наведено дані про фізико-механічні показники, а саме руйнівну напругу у повздовжньому та поперечному напрямках, склопластикових виробів та їх залежність від трансверсально-ізотропної структури, а саме від кількості та напрямку, в якому укладається армувальний матеріал. Встановлено можливість регулювання фізико-механічних властивостей у повздовжньому та поперечному напрямках, їх комбінації відповідно до навантаження за різних умов експлуатації.

Ключові слова: коефіцієнт анізотропії; руйнівна напруга; наповнювач; склопластикові труби.

Вступ. Конструкційні склопластики набувають широкого застосування в різних галузях. З них формуються вироби різних розмірів та форм: трубопроводи та реакційна апаратура, будівельні насипи та покрівля, корпуси автомобілів та судів, літаків, ракет та ін. Склопластики як конструкційний матеріал особливо придатні для формування виробів, які мають оболонку (Davudova & Kavun, 2012).

Склопластикові труби використовують у системах зрошення та меліорації, колекторно-дренажних мережах, як технологічні та магістральні трубопроводи протипожежних систем та систем водопостачання, транспортування хімічних агресивних середовищ, нафтопродуктів, для газопроводів та каналізаційних систем, водопідйомних колон та ін. (Khatib, 2016). Широке коло галузей застосування склопластикових труб передбачає різні умови їх навантаження, а саме: різне співвідношення навантаження у поперечному та повздовжньому напрямках. Так, наприклад у системах вертикальних трубопроводів навантаження відбувається не тільки внутрішнім тиском, а й додатковими конструкційними елементами. Співвідношення поперечного навантаження до повздовжнього може дорівнювати 1, а у горизонтальних системах підземної прокладки їх співвідношення може досягти 3 (Nan Ji Jin et al., 2013).

Склопластикові труби не мають ізотропної структури

(на відміну від металевих та ненаповнених полімерних), тому можливість широкого регулювання властивостей виробів у поперечному та повздовжньому напрямках ускладнені особливостями технології їх виготовлення (Khodakova et al., 2016). На практиці, під час проектування товщини стінки склопластикової труби, розрахунок ведеться тільки за одним найслабшим напрямом (який визначається умовами експлуатації).

Особливе місце займають склопластикові труби, що отримані методом косого поперечно-повздовжнього намотування (КППН). Цей метод належить до специфічних методів формування виробів зі склопластиків, з анізотропною або трансверсально-ізотропною структурою. Особливістю методу є формування макроструктури волокнистого наповнювача у виробі з різним співвідношенням фізико-механічних властивостей у повздовжньому та поперечному напрямках. Необхідне співвідношення досягається варіюванням кількості наповнювача, який укладається у виробі. Орієнтація наповнювача визначається співвідношенням швидкостей обертання оправки та переміщення укладальника (Daniltsev & Daniltsev, 2014). Завдяки цьому труби, одержані КППН можна застосовувати у трубопроводах з різними заданими фізико-механічними властивостями у поперечному та повздовжньому напрямках.

Метод КППН є відносно новим методом отримання

Інформація про авторів:

Карандашов Олег Георгійович, аспірант. Email: nokturnok@gmail.com

Авраменко В'ячеслав Леонідович, канд. техн. наук, професор, завідувач кафедри "Технологія пластичних мас та біологічно активних полімерів". Email: avramenko@kpi.kharkov.ua

Підгорна Лідія Пилипівна, канд. техн. наук, доцент. Email: podgornaya@kpi.kharkov.ua

Цитування за ДСТУ: Карандашов О. Г., Авраменко В. Л., Підгорна Л. П. Дослідження склопластикових труб з різною трансверсально-ізотропною структурою для різних умов експлуатації. Науковий вісник НЛТУ України. 2017. Вип. 27(5). С. 98–102.

Citation APA: Karandashov, O. G., Avramenko, V. L., & Podgornaya, L. F. (2017). Study of glass-reinforced pipes with different transversal and isotropic structure for various operating conditions. Scientific Bulletin of UNFU, 27(5), 98–102.

<https://doi.org/10.15421/40270520>

склопластикових труб, тому їх властивості залежно від будови трансверсально-ізотропної структури вивчені недостатньо (Karandashov & Avramenko, 2017; Jianhui Fu et al., 2017; Martins et al., 2014; Abdul Majid et al., 2011; Harris, 2004).

Мета дослідження – встановити залежність між трансверсально-ізотропною структурою склопластикових труб і їх фізико-механічними властивостями, а саме руйнівної міцності при розтягу у поперечному та повздовжньому напрямках.

Матеріали та методика дослідження. У виробничих умовах з ТОВ "Склопластикові труби" для проведення досліджень виготовлено склопластикові вироби з різною трансверсально-ізотропною структурою. Для опису трансверсально-ізотропної структури склопластикових труб, отриманих методом КППН, введено поняття коефіцієнта анізотропії (K_{an}) – відношення кількості наповнювача, який укладено у поперечному (кільцевому) напрямі до наповнювача, який укладено у повздовжньому напрямі.

Фізико-механічний показник, який досліджували – руйнівна напруга при розтягу у повздовжньому та поперечному напрямках (Tanopolskiy & Kintsis, 1981). Випробування на визначення початкової межі міцності при розтягу у кільцевому напрямі та дослідження та оброблення результатів із визначення початкової межі міцності при розтягу у повздовжньому напрямі виконано відповідно до стандартів ISO.

Перед початком дослідження здійснено заходи для унеможливлення факторів, які можуть вплинути на достовірність результатів. По-перше, це фактори, які належать до технології отримання зразків. Оскільки зразки одержані за допомогою механічного оброблення склопластикових труб, то вони мають радіусність. Це призводить до зниження межі міцності, тому що, окрім руйнівної напруги, під час розтягу виникає згинальний момент та концентратор напруги. Розмір зниження межі міцності залежить від діаметра склопластикової труби, з якої отримано зразки, та товщини стінки. Усунути цей вплив неможливо, тому зробили його постійним. Для цього при одержанні зразків для кожного полімерного компаунду отримані склопластикові труби з однаковими геометричними показниками. У ході роботи одержано склопластикові вироби із внутрішнім діаметром 100 мм, товщиною стінки 3 мм, з коефіцієнтом анізотропії 1,2; 1,5; 2; 2,5; 3,0. Склопластикові вироби з коефіцієнтом анізотропії меншим за 1,2 та більшим за 3, не досліджували, оскільки їх виробництво недоцільне з погляду технологічних ускладнень.

Як епоксидний олігомер використовували Episcote 828 (Nederland), як твердник – метилтетрогідрофталевий ангідрид (МТНРА), як прискорювач – 2,4,6 трис-(метиламіном етил)фенол (DMP-30). Як наповнювач використовували скляний ровінг ЕС 13-600.

Окрім технологічних факторів, на достовірність результатів впливають такі показники, як вміст полімерного компаунду у склопластику та його ступінь тверднення (ступінь зшивання). Вміст полімерного компаунду у зразках визначали методом випалювання (Tanopolskiy & Kintsis, 1981). Ступінь тверднення визначали за допомогою апарату Сокслета (Diyafov et al., 1990). До випробувань було допущено зразки із вмістом полімерного компаунду 28-29 % та його ступенем тверднення 96-97 %.

Результати та обговорення. У ході дослідження отримано залежності руйнівної напруги при розтягу (σ_p) у повздовжньому напрямі, від коефіцієнта анізотропії, а також в окружному напрямі, і зроблено їх порівняльний аналіз. На рис. 1 наведено залежність σ_p у повздовжньому напрямі від коефіцієнта анізотропії.

Рис. 1. Залежність руйнівної напруги при розтягу у повздовжньому напрямі від коефіцієнта анізотропії

Згідно з даними рис. 1, зі збільшенням коефіцієнта анізотропії зменшується показник руйнівної напруги при розтягу у повздовжньому напрямі (отримана майже прямолінійна зворотна залежність). На нашу думку, це зумовлено тим, що геометричні показники (внутрішній діаметр та товщина стінки) у зразках з різним коефіцієнтом анізотропії у досліджених склопластиках однакові. Окрім цього, вміст полімерного компаунду у кожного зразка наближений один до одного. Виходячи з цього, кількість полімерного компаунду у зразків з різним коефіцієнтом анізотропії на одиницю об'єму зразка є однаковою. Як наслідок, сумарна кількість наповнювача у зразках з різним коефіцієнтом анізотропії на одиницю об'єму зразка також однакова. Але розподіл однієї й тієї ж кількості наповнювача на одиницю об'єму зразка у повздовжньому та поперечному напрямках за різних коефіцієнтів анізотропії різний. Тому зроблено перерахунок коефіцієнта анізотропії у відсоткову частку наповнювача, який вкладається у повздовжньому та поперечному напрямках (табл. 1).

Табл. 1. Відсотковий розподіл наповнювача у повздовжньому та поперечному напрямі

Коефіцієнт анізотропії	Частка наповнювача, %	
	Повздовжній напрям	Поперечний напрям
1,2	45,5	54,5
1,5	40,0	60,0
2,0	33,3	66,7
2,5	28,6	71,4
3,0	25,0	75,0

Згідно з даними табл. 1 зі збільшенням коефіцієнта анізотропії кількість наповнювача, який вкладається у повздовжньому напрямі, зменшується. Було припущено, що більшою мірою саме наповнювач відповідає за опір навантаженню, тоді з його зменшенням буде зменшуватися і руйнівна напруга при розтягу у повздовжньому напрямі. Для доведення цього припущення проаналізовано дані табл. 2, у якій наведено зменшення руйнівної напруги при розтягу у повздовжньому напрямі та кількості наповнювача, який вкладається у повздовжньому напрямі, за збільшення коефіцієнта анізотропії.

З табл. 2 видно, що зменшення кількості наповнювача та руйнівної напруги у повздовжньому напрямі відповідно до збільшення коефіцієнта анізотропії близькі за своїм значенням. Це підтверджує, що значення

руйнівної напруги відповідає кількості наповнювача, який укладено у відповідному напрямку і тільки незначну роль відіграє полімерний компаунд.

На рис. 2 наведено залежність руйнівної напруги при розтягу у кільцевому напрямі від коефіцієнта анізотропії. З цього рисунку видно, що на відміну від руйнівної напруги при розтягу у поздовжньому напрямі, руйнівна напруга при розтягу у кільцевому напрямі має не зворотну, а пряму залежність від коефіцієнта анізотропії. Це пов'язано зі збільшенням кількості наповнювача у поперечному напрямі від коефіцієнта анізотропії, який відповідає за міцність у кільцевому напрямі.

Табл. 2. Зменшення кількості наповнювача та руйнівної напруги у поздовжньому напрямі відповідно до збільшення коефіцієнта анізотропії

Збільшення коефіцієнта анізотропії	Зменшення кількості наповнювача, який укладається:	Зменшення руйнівної напруги при розтягу:
	у поздовжньому напрямі, %	
Від 1,2 до 1,5	12,0	12,5
Від 1,2 до 2,0	26,8	29,7
Від 1,2 до 2,5	37,1	42,1
Від 1,2 до 3,0	45,1	52,8
Від 1,5 до 2,0	16,8	19,6
Від 1,5 до 2,5	28,5	33,9
Від 1,5 до 3,0	37,5	46,1
Від 2,0 до 2,5	14,1	17,8
Від 2,0 до 3,0	24,9	32,9
Від 2,5 до 3,0	12,6	18,4

Рис. 2. Залежність руйнівної напруги при розтягу у кільцевому напрямі від коефіцієнта анізотропії

Також варто зазначити, що залежність руйнівної напруги при розтягу у кільцевому напрямі від коефіцієнта анізотропії змінюється менш лінійно, ніж залежність руйнівної напруги при розтягу у поздовжньому напрямі. Так, в інтервалі між коефіцієнтами анізотропії 1,2 та 1,5 проявляється найбільше зростання показника руйнівної напруги. З подальшим зростанням коефіцієнта анізотропії руйнівна напруга при розтягу у поперечному напрямі зменшується.

У табл. 3. наведено зростання руйнівної напруги при розтягу у кільцевому напрямі та кількості наповнювача, який укладається у поперечному напрямі, відповідно до збільшення коефіцієнта анізотропії. З цієї таблиці видно, що зі збільшенням коефіцієнта анізотропії зростання кількості наповнювача, який укладається у поперечному напрямі, та зростання руйнівної напруги при розтягу у кільцевому напрямі близькі за значенням. Порівнюючи дані табл. 2 та 3 видно, що зі зменшенням кількості наповнювача незалежно від напрямку його вкладання

відбуваються аналогічні зміни значення руйнівної напруги при розтягу у відповідному напрямі. Причому різниця між зміною кількості наповнювача та руйнівної напруги у заданому напрямі не перевищує 5 %.

Табл. 3. Зростання кількості наповнювача, який укладається у поперечному напрямі, та руйнівної напруги при розтягу у поздовжньому напрямі відповідно до збільшення коефіцієнта анізотропії

Збільшення коефіцієнта анізотропії	Зростання кількості наповнювача, який укладається у поперечному напрямі, %	Зростання руйнівної напруги при розтягу у кільцевому напрямі, %
Від 1,2 до 1,5	10,1	13,2
Від 1,2 до 2,0	22,4	27,1
Від 1,2 до 2,5	31,0	35,4
Від 1,2 до 3,0	37,6	40,1
Від 1,5 до 2,0	11,2	12,2
Від 1,5 до 2,5	19,0	19,5
Від 1,5 до 3,0	25,0	23,6
Від 2,0 до 2,5	7,0	6,5
Від 2,0 до 3,0	12,4	10,2
Від 2,5 до 3,0	5,0	3,5

Отже, у подальших дослідженнях інших наповнювачів достатньо буде отримати значення руйнівної напруги у поздовжньому та кільцевому напрямках за одного заданого коефіцієнта анізотропії, для того, щоб для виробів з будь-яким іншим коефіцієнтом анізотропії за змінням кількості наповнювача можливо було достатньо точно спрогнозувати значення руйнівної напруги у відповідному напрямі. Отже, можливо не тільки спрогнозувати фізико-механічні властивості для виробів із заданим коефіцієнтом анізотропії, а й підібрати необхідний коефіцієнт для виробів відповідно до умов використання.

Здійснено інтерес порівняння абсолютних показників руйнівної напруги при розтягу у поздовжньому та поперечному напрямках і коефіцієнта анізотропії (рис. 3).

Рис. 3. Залежність руйнівної напруги при розтягу у кільцевому та поздовжньому напрямках від коефіцієнта анізотропії

З рис. 3 видно, що руйнівна напруга при розтягу у кільцевому напрямі має пряму залежність від коефіцієнта анізотропії, а руйнівна напруга при розтягу у поздовжньому напрямі навпаки – зворотну. Це є наслідком того, що з підвищенням коефіцієнта анізотропії збільшується кількість наповнювача, який укладається у поперечному напрямі, та зменшується кількість наповнювача, що укладається у поздовжньому напрямі.

У табл. 4 наведено співвідношення кільцевої та поздовжньої руйнівної напруги при розтягу з кожним коефіцієнтом анізотропії. Дані цієї таблиці показують, що фізико-механічні властивості склопластикових труб, а саме руйнівної напруги при розтягу у поздовжньому та кільцевому напрямках залежать від співвідношення наповнювача, вкладеного у цих напрямках.

Табл. 4 Співвідношення руйнівної напруги при розтягу у кільцевому напрямі до руйнівної напруги при розтягу у повздовжньому напрямі залежно від коефіцієнта анізотропії

Коефіцієнт анізотропії	Співвідношення руйнівної напруги у кільцевому напрямі до руйнівної напруги у повздовжньому напрямі
1,2	1,13 (362/320)
1,5	1,46 (410/280)
2,0	2,04 (460/225)
2,5	2,69 (4900/185)
3,0	3,35 (507/151)

Так, коефіцієнт анізотропії, який означають співвідношення кількості наповнювача, який укладається у поперечному напрямі, до кількості наповнювача, який укладається у повздовжньому напрямі, майже збігаються з відповідним значенням співвідношень руйнівної напруги у кільцевому напрямі до руйнівної напруги у повздовжньому напрямі. Отже, знаючи коефіцієнт анізотропії та руйнівну напругу в одному з напрямів, можна передбачити близьке до дійсного значення руйнівної напруги в іншому напрямі без додаткового випробування.

Висновок. У ході дослідження встановлено залежність між трансверсально-ізотропною структурою склопластикових труб, отриманих методом КППН, і фізико-механічними властивостями у поперечному та повздовжньому напрямках, зокрема руйнівна напруга при розтягу. Отримані дані дають змогу спрогнозувати та змодельовати конструкційні склопластики з необхідними показниками руйнівної напруги при розтягу у повздовжньому або кільцевому напрямках, або їх комбінації шляхом зміни коефіцієнта анізотропії у діапазоні від 1 до 3 для кожного окремого трубопроводу з певними умовами експлуатації. Регулюючи комбінацію фізико-механічних властивостей у повздовжньому та поперечному напрямках, показано можливість обрати таку товщину стінки виробу, яка відповідала б мінімально допустимим значенням в обох напрямках, а не тільки в одному, тоді як в іншому був би надмірний запас міцності. Це, водночас, зменшує матеріальні затрати та може сприяти підвищенню продуктивності отримання виробів.

У цій роботі з фізико-механічних властивостей розглянуто руйнівну напругу при розтягу, що дає тільки початкову картину властивостей трансверсально-ізотропної системи. У ході подальших досліджень доцільно розглянути вплив трансверсально-ізотропної структури

на такі фізико-механічні властивості, як руйнівна напруга при стиску, вигині та їх модуль пружності. Це буде підставою вважати, що всі фізико-механічні властивості мають схожу залежність від трансверсально-ізотропної системи та привнесе нові дані для детальнішого розроблення і виготовлення трубопроводів з різними умовами навантаження.

Перелік використаних джерел

- Abdul Majid, M. S., Assaleh, T. A., Gibson, A. G., Hale, J. M., Fahrer, A., Rookus, C. A. P., & Hekman, M. (2011). Ultimate elastic wall stress (UEWS) test of glass fibre reinforced epoxy (GRE) pipe. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 42(10), 1500–1508. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2011.07.001>
- Daniltsev, V. H., & Daniltsev, V. V. (2014). *UA 105317*, Publ. Apr. 25, 136 p.
- Davydova, I. F., & Kavun, N. S. (2012). *Stekloplastiki – Mnogo-funktsionalnye Kompositnye Materialy* [Glass Fiber Reinforced Plastics – Multifunctional Composite Materials]. *Aviatsionnye materialy i tekhnologii*, 8, 253–260. [in Russian].
- Diyarov, I., Batueva, Y., Sadykov, A., & Solodova, N. (1990). *Khimiya nefi* [Chemistry of oil]. Leningrad: Khimiya, 230 p.
- Harris, B. (2004). *Fatigue in Composites*. Elsevier: Woodhead Publishing, 460 p.
- Jianhui Fu, Jaedeuk Yun, Yoongho Jung, & Deugwoo Lee (2017). Generation of filament-winding paths for complex axisymmetric shapes based on the principal stress field. *Composite Structures*, 161, 330–339. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2016.11.022>
- Karandasov, O. G., & Avramenko, V. L. (2017). Studies of Thermal Stability of Epoxy Compounds for Glass-Fiber Pipes. *Chemistry and Chemical Technology*, 11(1), 61–64. <https://doi.org/10.23939/cheht11.01.061>
- Khatib, J. M. (2016). *Sustainability of Construction Materials* (Second Edition). Elsevier: Woodhead Publishing, 240 p.
- Khodakova, N. N., Blaznov, A. N., Samoylenko, V. V., Krasnova, A. S., Hrebnev, S. S., & Radionov, I. A. (2016). Vliyanie skhemy namotki na formirovaniemekhanicheskikh svoystv izdeliy iz kompozitov v rpdolnom i poperechnom napravlenii [Influence Of Winding Scheme For Formation Of Articles Mechanical Properties Of Composites in Longitudinal and Transverse Direction]. *Yugho – sibirskiy nauchnyy vestnik*, 4(16), 17–25. [in Russian].
- Martins, L. A. L., Bastian, F. L., & Netto, T. A. (2014). Reviewing some design issues for filament wound composite tubes. *Materials & Design*, 55, 242–249. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2013.09.059>
- Nan Ji Jin, Hae Geun Hwang, & Jung Heum Yeon (2013). Structural analysis and optimum design of GRP pipes based on properties of materials. *Construction and Building Materials*, 38, 316–326. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.07.115>
- Tanopolskiy, Y., & Kintsis, T. (1981). *Metody staticheskikh ispytaniy armirovannykh plastikov* [Methods of static testing of reinforced plastics]. Moscow: Khimiya, 360 p. [in Russian].

О. Г. Карандашов, В. Л. Авраменко, Л. Ф. Подгорная

Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт", г. Харьков, Украина

ИССЛЕДОВАНИЕ СТЕКЛОПЛАСТИКОВЫХ ТРУБ С РАЗНОЙ ТРАНСВЕРСАЛЬНО-ИЗОТРОПНОЙ СТРУКТУРОЙ ДЛЯ РАЗНЫХ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Установлены сложности при проектировании стеклопластиковых труб с анизотропной структурой, которые используются в системах лесного, городского и сельского хозяйств, в связи с разными условиями и распределения нагрузки в продольном и поперечном (кольцевом) направлениях. Обусловлен выбор производства стеклопластиковых труб методом кослойной продольно-поперечной намотки, как самого перспективного с возможностью контролирования трансверсально-изотропной структуры стеклопластиковых изделий круглого сечения. Проанализировано количество наполнителя, уложенного в продольном направлении, и количество наполнителя уложенного в поперечном направлении, и их соотношение в зависимости от трансверсально-изотропной структуры стеклопластиковых труб. По результатам экспериментальных исследований приведены данные о физико-механических показателях, а именно разрушающем напряжении в продольном и поперечном направлениях, стеклопластиковых изделий и их зависимость от трансверсально-изотропной структуры, а именно от количества и направления, в котором уложен армирующий материал. Установлена возможность регулирования физико-механических свойств в продольном и поперечном направлениях, их комбинацию соответственно к нагрузке при разных условиях эксплуатации.

Ключевые слова: коэффициент анизотропии; разрушающее напряжение; наполнитель; стеклопластиковые трубы.

STUDY OF GLASS-REINFORCED PIPES WITH DIFFERENT TRANSVERSAL AND ISOTROPIC STRUCTURE FOR VARIOUS OPERATING CONDITIONS

Glass-plastic pipes are widely used in the field of forestry, municipal services and agriculture, in irrigation and melioration systems, collector-drainage networks, technological and main pipelines of fire protection systems and water supply systems, for transportation of chemical aggressive environments and oil products, for gas pipelines and sewage systems, water-raising columns and others. A significant number of operating conditions involves the utilization of fiberglass pipes with different physical and mechanical characteristics. The method of cross-fibred longitudinal-circumferential winding allows receiving products with a different transversal-isotropic structure. The study has established the influence of this structure on the physical and mechanical properties of fiberglass pipes – the failure stress at tension in the longitudinal and transverse directions. The authors have indicated the dependence of the amount of the filler in the transversal and axial directions, their ratio on the transversally isotropic structure. Based on the results of study, the authors have found the dependence of the failure stress at tension in the longitudinal and transverse directions on the amount and ratio of the filler in the transversal and axial directions. The obtained data permits predicting and simulating construction fiberglass plastics with the necessary characteristics of the failure stress at tension in the longitudinal and transverse directions, or their combinations by changing the transversal-isotropic structure for each individual pipeline with certain operating conditions. The adjustment of the combination of physical and mechanical properties in longitudinal and transverse directions makes it possible to choose a wall thickness of the product that would correspond to the minimum permissible value in both directions, and not only in one of them. A further study of the dependence of the failure compression and bending stress and their elastic modulus will allow assuming that all physical and mechanical properties have a similar dependence on the transversally isotropic system and bring new data for more detailed design and manufacture of pipelines with different loading conditions.

Keywords: anisotropy coefficient; failure stress; filler; glass-reinforced pipes.