

**Разработка методики испытаний гибких шлангов на основе
пластифицированного ПВХ, армированного спиралью из жесткого ПВХ**

© В.В. Алексеенко, К.М. Суханова, А.Н. Шестаков, В.П. Яценко

Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия

Резюме: Цель исследования – разработка лабораторных методик, которые позволяют оценить эксплуатационные свойства полимерных гибких шлангов. Основные параметры, которые ограничивают применение гибких полимерных шлангов – это гибкость при низких температурах и стойкость к перегибам при положительных температурах. Для исследования гибкости шлангов при низких температурах была создана установка, которая позволяет измерять деформативность шланга при консольном нагружении. Охлаждение шлангов производилось в специальной холодильной камере. Для измерения стойкости шланга к перегибам использовалась стандартная трехточечная схема нагружения на испытательной машине *Instron 5980*. Измерения проводились при температуре 20°C. Измерения гибкости полимерных шлангов при отрицательных температурах показали, что шланги, изготовленные из пластифицированного поливинилхлорида, сохраняют гибкость при минус 30°C. Стойкость к перегибам зависит от шага армирующей спирали и толщины стенки шланга. Таким образом, апробированы две лабораторные методики измерения гибкости и стойкости к перегибу ПВХ шлангов. Показано, что с помощью этих методик можно прогнозировать температурный диапазон эксплуатации и физико-механические характеристики промышленно выпускаемых полимерных гибких шлангов.

Ключевые слова: пластифицированные полимеры, гибкие шланги, поливинилхлорид, морозостойкость

Благодарности: Авторы благодарят руководство ООО «Химсервис» за предоставленные образцы ПВХ-шлангов.

Для цитирования: Алексеенко В.В., Суханова К.М., Шестаков А.Н., Яценко В.П. Разработка методики испытаний гибких шлангов на основе пластифицированного ПВХ, армированного спиралью из жесткого ПВХ. *Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость*. 2021. Т. 11. № 2. С. 232–241. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-2-232-241>

**An experimental procedure for flexible hoses based
on plasticised PVC reinforced with a rigid PVC spiral**

Victor V. Alekseenko, Ksenija M. Suhanova, Aleksandr N. Shestakov, Vladimir P. Yashchenko

Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

Abstract: In this work, we develop laboratory techniques for evaluating service properties of flexible polymer hoses. The main parameters limiting the application of flexible polymer hoses are low-temperature flexibility and kink resistance at positive temperatures. To study the flexibility of hoses at low temperatures, a setup measuring deformability of a hose under cantilever loading was built. Cooling of hoses was carried out in a special refrigerating chamber. A standard three-point loading configuration was used to measure the hose kink resistance on an *Instron 5980* testing machine. The measurements were performed at a temperature of 20°C. Flexibility measurements performed on polymer hoses at negative temperatures showed that hoses from plasticised PVC remain flexible at –30°C. Kink resistance depends on the pitch of spiral reinforcement and the wall thickness of the hose. Thus, two laboratory procedures for measuring the flexibility and kink resistance of PVC hoses were tested. It was shown that these techniques are capable of predicting the service temperature range and physical and mechanical characteristics of commercial polymer flexible hoses.

Keywords: plasticized polymers, flexible hoses, polyvinyl chloride, frost resistance

Acknowledgments: The authors are grateful to the management of the company “Chemservice” for the provided samples of PVC hoses.

For citation: Alekseenko VV, Suhanova KM, Shestakov AN, Yashchenko VP. An experimental procedure for flexible hoses based on plasticised PVC reinforced with a rigid PVC spiral. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2021;11(2):232–241. (In Russ.) <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-2-232-241>

Введение

На сегодняшний день гибкие полимерные шланги незаменимы в быту, сельском хозяйстве, строительстве, во многих сферах промышленности [1–5]. Одним из наиболее перспективных материалов для производства шлангов является поливинилхлорид (ПВХ). Данный материал нерастворим в воде, устойчив к действию слабых кислот, щелочей, спиртов, минеральных масел. Среди преимуществ ПВХ-шлангов следует выделить сравнительно высокую механическую прочность, гибкость, небольшой вес и низкую стоимость [6–12]. Тем не менее шланги, имеющие однородную структуру, не обладают необходимыми потребительскими

свойствами. Хорошие механические характеристики имеют только армированные изделия. Композитная структура шлангов постоянно совершенствуется и представляет собой продукт высоких технологий. Проблема выбора структуры и типа материала для армирования гибких шлангов имеет два аспекта: оптимальная механическая прочность арматуры и физико-химическая совместимость арматуры и материала основы шланга в процессе изготовления и эксплуатации. Наиболее удобным при изготовлении и не вызывающим вопросов при эксплуатации является выбор в качестве армирующего материала спирали из жёсткого ПВХ. Схема конструкции таких шлангов представлена на рис. 1.

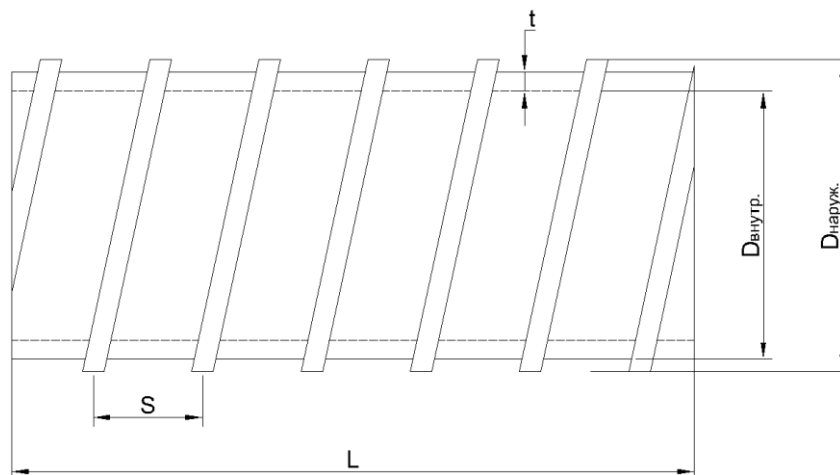


Рис. 1. Схема конструкции исследуемых шлангов: S – шаг спирали; t – толщина стенки; L – длина шланга

Fig. 1. Scheme of the structure of the studied hoses: S – spiral pitch; t – wall thickness; L – hose length

Для эффективной эксплуатации ПВХ-шлангов необходимо решать такие важные задачи, как обеспечение их надежности, работоспособности, долговечности и ряда других характеристик. Поэтому важное значение имеют экспериментальные исследования, которые позволяют верно оценить прочностные и деформационные характеристики готовых изделий и найти оптимальные конструктивные решения применительно к различным условиям эксплуатации.

Данная работа посвящена лабораторным испытаниям армированных ПВХ-шлангов, имеющих различные геометрические характеристики и разный материал основы шланга, позволяющим измерить параметры гибкости при отрицательных температурах и стойкости к перегибу при положительных температурах. Полученные результаты позволяют оценить прочностные и деформационные характеристики гибкого шланга исходя из геометрических параметров и физико-механических свойств материала арматуры и основы шланга.

В настоящее время исследователями предлагаются различные подходы к методам испытаний и расчетов¹ [13–18] для определения физико-механических характеристик гибких шлангов, которые позволили бы оценить работоспособность шлангов при различных механических нагрузках и температурах. Поскольку эксплуатация гибких ПВХ-шлангов может происходить как в зимние морозы, так и в летнюю жару, большое значение имеет задача определения деформационных и прочностных характеристик шлангов в зависимости от температуры. Основные проблемы, возникающие при эксплуатации гибких шлангов, – это потеря гибкости при низких температурах и излом шланга, лежащего на углу твёрдой поверхности. С целью решения этих проблем мы исследовали две методики, которые позволяют измерить сравнительные физико-механические характеристики шлангов: одна

методика позволяет сравнить гибкость шлангов при низких температурах, вторая – стойкость шлангов к перегибу при положительных температурах.

Методы

С целью определения деформационных характеристик гибкого шланга создана лабораторная установка для проведения испытаний ПВХ-шлангов на изгиб. Общий вид и расчетная схема установки для определения гибкости представлены на рис. 2 и 3, для определения стойкости к перегибу – на рис. 4 и 5. Установка представляет собой станину, на которой установлены два жестких разъемных зажима, диаметр которых регулируется по размерам шланга. В зажимы устанавливается исследуемый шланг таким образом, чтобы он консольно выступал за пределы зажимов. На конце консоли к шлангу подвешивается груз фиксированной величины.



Рис. 2. Общий вид лабораторной установки для определения гибкости шлангов
Fig. 2. General view of the laboratory test set for determining flexibility of hoses

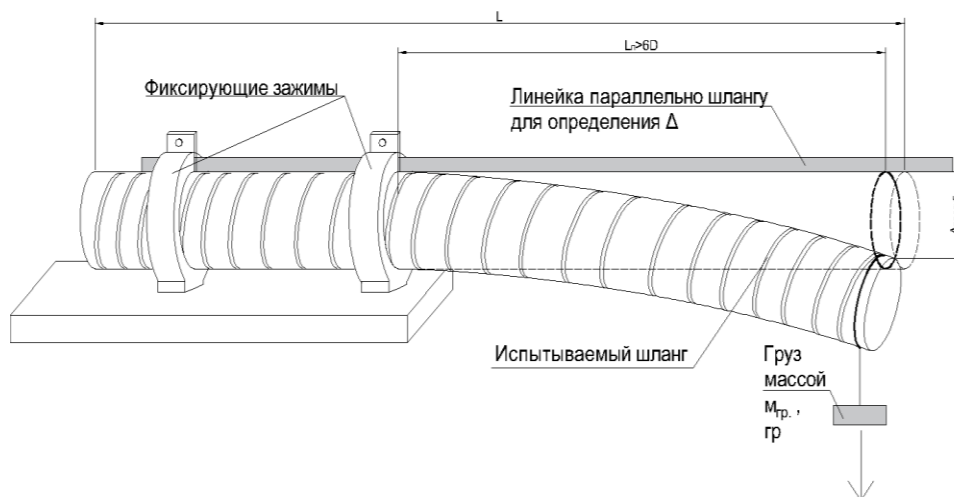


Рис. 3. Схема лабораторной установки
Fig. 3. Scheme of the laboratory test set

¹ГОСТ 11262-2017 (ISO 527-2:2012). Пластмассы. Метод испытания на растяжение: введ. 01.10.2018. М.: Стандартинформ, 2018. 20 с.

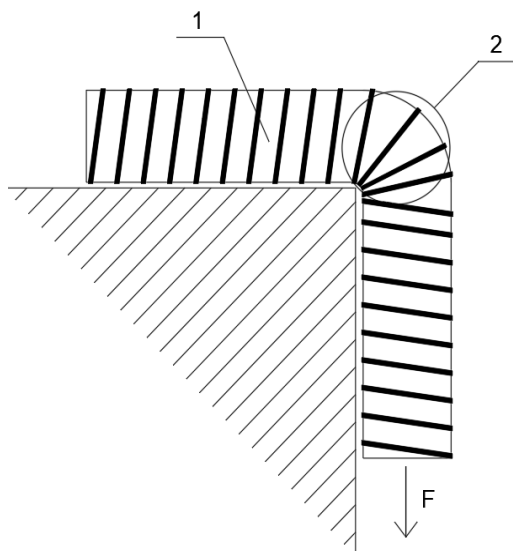


Рис. 4. Шланг, свешенный с уступа твердой поверхности, перекачивающий жидкости:

1 – шланг; 2 – место возникновения перегиба

Fig. 4. A hose hanging from a ledge of a solid surface for pumping liquids:

1 – hose; 2 – the place where the bend occurs

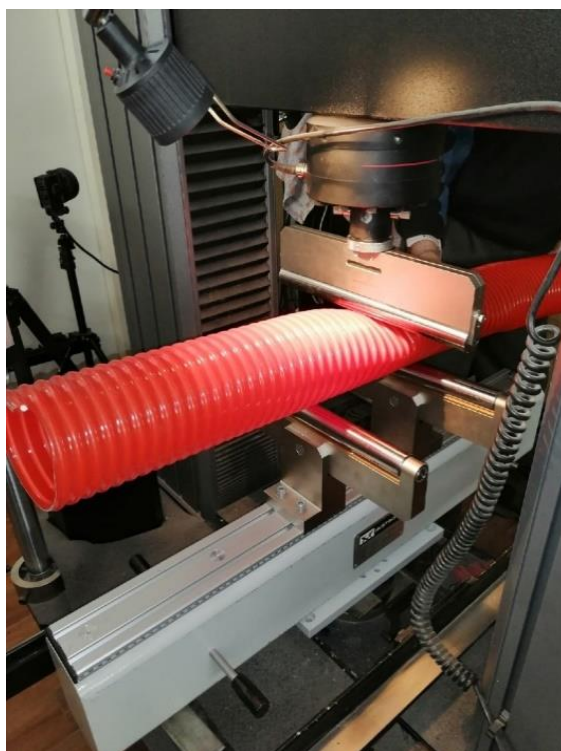


Рис. 5. Общий вид испытания на Instron 5980 до перегиба шланга

Fig. 5. General view of the test on the Instron 5980 before kinking the hose

Исследуемый шланг выдерживается при заданной температуре в термической камере в течение трёх часов, а затем устанавливается в испытательное устройство. Производится ступенчатое нагружение шланга,

при этом на каждой ступени определяется величина прогиба консоли Δ . Схема конструкции шлангов представлена на рис. 6. Параметры исследуемых шлангов указаны в табл. 1.

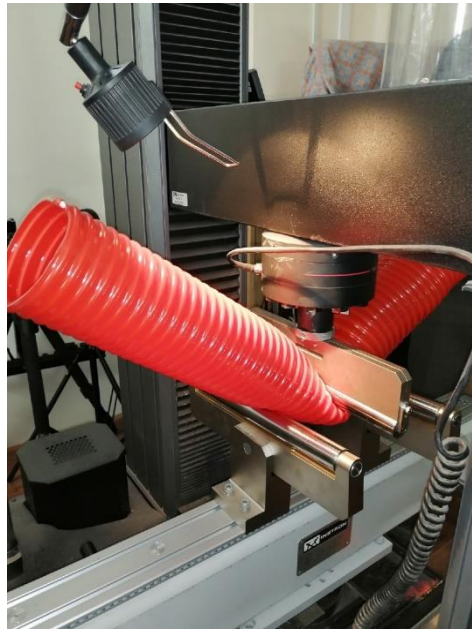


Рис. 6. Общий вид испытания на *Instron 5980* после перегиба шланга
Fig. 6. General view of the test on *Instron 5980* after kinking the hose

Таблица 1. Геометрические характеристики шлангов, испытываемых на гибкость
Table 1. Geometrical characteristics of flexibility of tested hoses

Характеристика	Зимняя модификация	Летняя модификация
Цвет	Тёмно-синий	Синий
Наружный диаметр D (мм)	114,4	114,4
Внутренний диаметр d (мм)	101,3	102,3
Толщина основы шланга t (мм)	4,7	4,9
Диаметр армирующей проволоки d_w (мм)	6,4	7,14
Шаг спирали армирующей проволоки s_w (мм)	12	11,4
Длина консоли l (мм)	590	600

Постановка эксперимента для исследования стойкости шлангов на перегиб представляет собой схему трехточечного изгиба на испытательной машине *Instron 5980* (рис. 3 и 4). Расстояние между нижними опорами равнялось 2 диаметрам шланга. Это минимальная длина, при которой возможен перегиб, если свесить шланг с уступа на 90 градусов с перекачкой жидкости. При такой схеме эксперимента моделируется

нагрузка на шланг, когда он лежит на краю твердой поверхности (рис. 4).

Перед испытанием исследуемый шланг выдерживается при температуре 20–25°C в течение трёх часов, а затем устанавливается в испытательное устройство. Производится нагружение шланга с постоянной скоростью, равной 3 мм/сек, до момента разрушения шланга, который фиксируется по спаду нагрузки. Параметры исследуемых шлангов указаны в табл. 2.

Таблица 2. Геометрические характеристики шлангов, испытываемых на перегиб
Table 2. Geometric characteristics of hoses tested for kink

Характеристика	Летняя модификация, тип I	Летняя модификация, тип II	Зимняя модификация, тип I	Зимняя модификация, тип II
Цвет	Красный	Голубой	Светло-синий	Темно-синий
Наружный диаметр D (мм)	112	113		
Внутренний диаметр d (мм)	92			

Результаты и их обсуждение

Все испытания проводились на ПВХ-шлангах, промышленно выпускаемых ООО «Химсервис» в г. Иркутске. Для опре-

деления сравнительной гибкости ПВХ-шлангов были проведены эксперименты по схеме, указанной на рис. 2, при различных температурах и нагрузках (табл. 3). Это позволило определить

температуру, при которой шланг теряет гибкость, а значит и температурный диапазон эксплуатации шланга. Зимняя модификация шланга, изготовленная с повышенным содержанием пластификатора диоктилсебацината (ДОС), демонстрирует гибкость даже при температуре -30°C , в то время как летняя модификация с использованием пластификатора диоктилфталата (ДОФ) – ма-

лую гибкость при -10°C . Жёсткая спираль из наполненного ПВХ в летнем и зимнем шланге сделана из одного и того же материала. Результаты испытаний показывают, что на гибкость шланга при пониженных температурах основное влияние оказывает качество и количество пластификатора, содержащегося в материале основы шланга.

Таблица 3. Значения нагрузки и прогибов при испытании шлангов на гибкость

Table 3. Values of loads and deflections when testing hoses for flexibility

Нагрузка (Н)	Зимняя модификация	Летняя модификация
	Прогиб Δ (мм)	Прогиб Δ (мм)
<i>Температура -30°C</i>		
2,825	11	7
7,73	24	7,5
12,64	41	8
22,39	72	9
32,157	106	10
<i>Температура -10°C</i>		
2,825	30	17
7,73	46	22
12,64	63	28
19,04	89	36
<i>Температура 0°C</i>		
2,825	58	22
6,5	76	30
10,79	101	39
15,696	133	54

Для определения сравнительной стойкости ПВХ-шлангов к перегибам были проведены эксперименты по схеме, указанной на рис. 7. Они позволили определить механические нагрузки, при которых шланг теряет устойчивость и необратимо деформируется (табл. 4). Скорость деформирования шланга была выбрана 1 мм/сек. Испытания

проводились для двух видов шлангов для зимней эксплуатации и двух видов шлангов для летней эксплуатации. Шланги различались количеством пластификатора в материале основы, материал армирующей спирали был идентичен для всех четырёх видов шлангов.

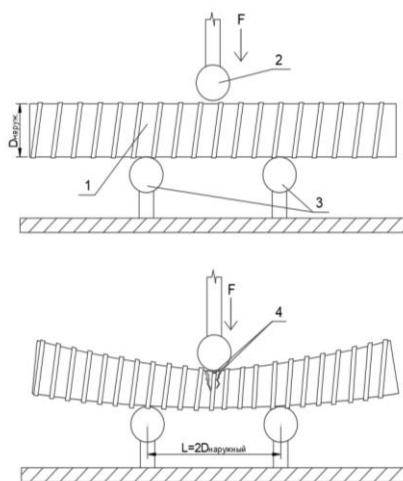


Рис. 7. Схема испытания перегиба: 1 – испытываемый шланг; 2 – подвижная опора; 3 – опоры; 4 – трещины и разрывы

Fig. 7. Scheme of kink test: 1 – test the hose; 2 – movable support; 3 – supports; 4 – cracks and breaks

Таблица 4. Значения разрушающей нагрузки при испытании шлангов на перегиб
Table 4. Values of breaking load when testing hoses for kink

Метка образца	Диаметр внешний, мм	Шаг спирали, $t_{сп}$, мм	Диаметр спирали, $d_{сп}$, мм	Расстояние между опорами, мм	Погонный вес шланга, г/м	Максимальная нагрузка, Н
Зимняя модификация, тип I (светло-синий)	113	113	4,9	185	2414,2	1052
Зимняя модификация, тип II (темно-синий)		113			2435,7	843
Летняя модификация, тип I (красный)		143			2324,3	943
Летняя модификация, тип II (голубой)		135			2081,8	826

На рис. 8 представлен график «нагружение – перемещение», характерный для экспериментов на перегиб. Результаты испытаний показывают, что на стойкость шланга к перегибу влияет как плотность материала,

так и шаг армирующей спирали. Например, зимние шланги I и II типов по техническим характеристикам (диаметр шланга, шаг спирали, толщина спирали) не отличаются друг от друга ничем, кроме веса на погонный метр.

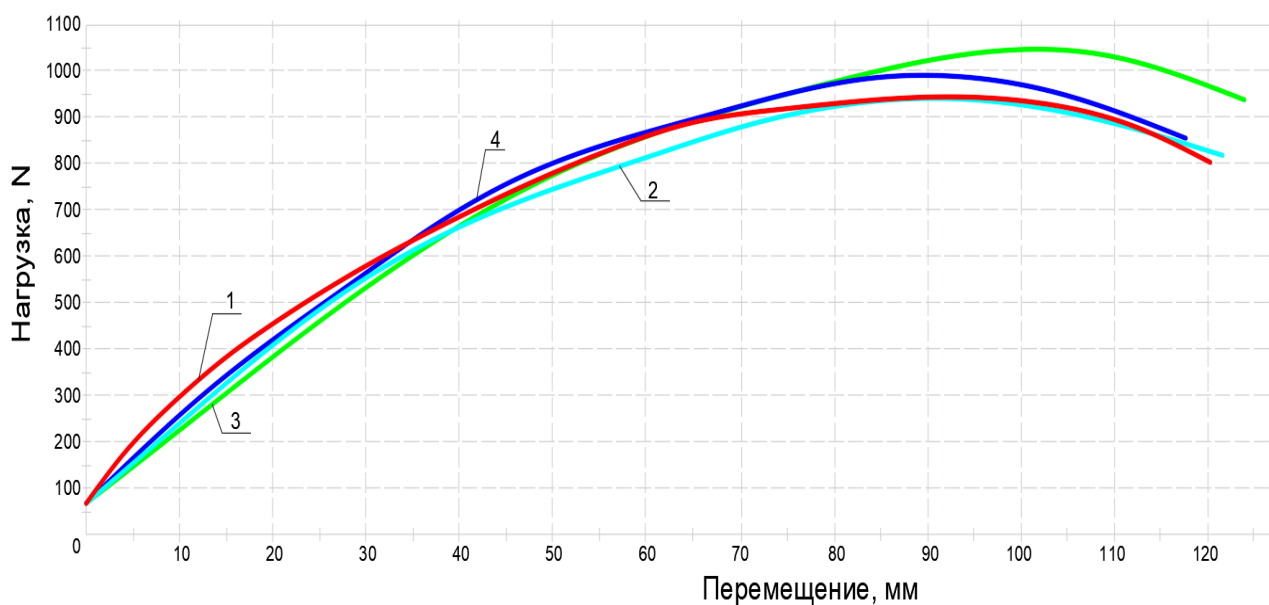


Рис. 8. График зависимости «нагрузка – перемещение»: 1 – летняя модификация шланга, тип I; 2 – летняя модификация, тип II; 3 – зимняя модификация, тип I; 4 – зимняя модификация, тип II

Fig. 8. Graph of dependence of load – displacement: 1 – summer modification hose type I; 2 – summer modification hose type II; 3 – winter modification hose type I; 4 – winter modification hose type II

Вес, а значит и плотность материала у шланга II типа больше, чем у шланга I типа, соответственно, и прочность у него выше. Сравним зимний шланг типа I с летним типа I: технические характеристики у данных шлангов отличаются шагом спирали и плотностью материала. При этом летний шланг почти не уступает в прочности зимнему. Обусловлено

это тем, что при нагружении армирующая спираль не полностью воспринимает нагрузку из-за большого шага спирали, значительная часть приходится на пластифицирующую зону шланга, что позволяет воспринимать большие нагрузки. Таким образом, можно сказать, что на прочность влияет и плотность, и шаг спирали, которые коррелируют друг с другом. Измерен-

ная прочность шлангов на перегиб показывает, что шланг, наполненный водой, не сломается под весом жидкости, лёжа на углу 90° при глубине колодца 6–7 метров. Ввиду наличия у материалов типа ПВХ ползучести долгое нахождение в сильно изогнутом состоянии под нагрузкой нежелательно.

Заключение

В результате выполненных исследований были проанализированы лабораторные методики определения гибкости шлангов при пониженных температурах и стойкости

шлангов к перегибу. Эти методики позволяют измерить сравнительную гибкость шлангов при отрицательных температурах и стойкость к перегибу при положительных температурах. Показано, что ПВХ-шланги, основа которых пластифицирована ДОО, обладают хорошей гибкостью при пониженных температурах (морозостойкость), летние шланги зимой теряют гибкость. Стойкость шлангов к перегибам зависит от качества армирующей спирали и толщины стенки шланга, поэтому и зимние, и летние шланги демонстрируют достаточную прочность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Корнев В.А., Рыбаков Ю.Н. Композитные напорно-всасывающие рукава для перекачивания нефтепродуктов // Проблемы современной науки и образования. 2017. № 10 (92). С. 36–40.
2. Khalid H.U., Ismail M.C., Nosbi N. Permeation Damage of Polymer Liner in Oil and Gas Pipelines: A Review // *Polymers*. 2020. Vol. 12. p. 2307. <https://doi.org/10.3390/polym12102307>
3. Сиренко Е.Р. Применение полипропиленовых труб в промышленном водоснабжении // Известия ТулГУ. Технические науки. 2020. Вып. 6. С. 107–110.
4. Рыбаков Ю.Н., Харламова О.Д., Чириков С.И. Вопросы использования термопластичных рукавов для нефтепродуктов в условиях холодного климата // Научный вестник МГТУ ГА. 2014. № 206. С. 107–110.
5. Егоров Д.А. Использование труб из полимерных материалов // Евразийский научный журнал. 2016. № 6. С. 317–328.
6. Шаравара А.М., Христофорова И.А. ПВХ-композиции и их применение // Международный научно-исследовательский журнал. 2019. № 2 (80). С. 84–86. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2019.80.2.015>
7. Khan A., Malvi C.S. PVC Pipe Designer Furniture // *Journal of Polymer and Composites*. 2016. № 4 (2). p. 29–33.
8. Шыхалиев К.С. Физико-механические свойства пластифицированного сшитого не-предельными эпоксисоединениями ПВХ и изделия на их основе // Инновации в науке. 2017. № 12 (73). С. 54–58.
9. Makris K.F., Langeveld J., Clemens F.H.L.R. A review on the durability of PVC sewer pipes: research vs. practice // *Journal Structure and Infrastructure Engineering Maintenance, Management, Life-Cycle Design and Performance*. 2020. Vol. 16. Iss. 6. P. 880–897. <https://doi.org/10.1080/15732479.2019.1673442>
10. Asrasal A., Wahyudi S.I., Adi H.P., Heikoop R. Analysis of floating house platform stability using polyvinyl chloride (PVC) pipe material // *MATEC Web of Conferences*. 2018. Vol. 195. p. 8. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201819502025>
11. Гуткович С.А., Михаленко М.Г. Особенности пластифицированных композиций на основе поливинилхлорида (ПВХ) с различной молекулярной массой // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2013. Т. 10. № 2. С. 251–253.
12. Fenollar O., Garcia-Sanoguera D., Sanchez-Nacher L., Boronat T., López J., Balart R. Mechanical and Thermal Properties of Polyvinyl Chloride Plasticized with Natural Fatty Acid Esters // *Polymer-Plastics Technology and Engineering*. 2013. Vol. 52. p. 761–767. <https://doi.org/10.1080/03602559.2013.763352>
13. Аношкин А.Н. Пospelov A.B. Якушев Р.М. Особенности деформирования и разрушения комбинированных полимерных труб при низких температурах // Вестник ПНИПУ. Механика. 2014. № 2. С. 5–20.
14. Железняк И.И., Стетюха В.А. Расчет трубы из полимерного материала под действием внешней нагрузки в скважине в массиве многолетнемерзлых пород // Известия УГГУ. 2018. Вып. 3 (51). С. 121–125. <https://doi.org/10.21440/2307-2091-2018-3-121-125>
15. Синюгин А.А., Опарин В.Б., Петровская М.В. Определение механических характеристик полимерных материалов, входящих в конструкцию гибкой полимерно-металлической трубы // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. 2015. № 4 (48). С. 116–123.
16. Huang D., Tang A., Darli C.M. Pipe-soil interaction at pipe bend under seismic load // *Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice*. 2020. Vol. 11. № 3. p. 04020023. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)PS.1949-1204.0000457](https://doi.org/10.1061/(ASCE)PS.1949-1204.0000457)

17. Frank A., Messiha M., Koch T., Poduška J., Hutař P., Arbeiter F., et al. Correlation of the cyclic cracked round bar test and hydrostatic pressure test for unplasticized polyvinylchloride // *Polimer testing*. 2021. Vol. 95. p. 107125. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2021.107125>

18. Alhamati A.A.N., Ghazali A.H., Norzaie J., Mohammed N.A., Kadir M.R.A. Investigation on the behavior of rigid polyvinylchloride pipes subjected to uniaxial compression loads // *American Journal of Applied Science*. 2006. Vol. 7. No. 3. p. 1916–1923. <https://doi.org/10.3844/ajassp.2006.1916.1923>

REFERENCES

1. Kornev VA, Rybakov YuN. Composite pressure-suction hoses for pumping petroleum products. *Problemy sovremennoj nauki i obrazovaniya*. 2017;10(92):36–40. (In Russ.)
 2. Khalid HU, Ismail MC, Nosbi N. Permeation Damage of Polymer Liner in Oil and Gas Pipelines: A Review. *Polymers*. 2020;12:2307. <https://doi.org/10.3390/polym12102307>
 3. Sirenko ER. Application of polypropylene pipes in industrial water supply. *Izvestiya TUGU. Tekhnicheskie nauki*. 2020;6:107–110. (In Russ.)
 4. Ribakov YN, Harlamova OD, Chirikov SI. Problems of using flexible thermoplastic hoses in cold climate. *Nauchnyj vestnik MGTU GA = Civil Aviation High Technologies*. 2014;206:107–110. (In Russ.)
 5. Egorov DA. The use of pipes made of polymer materials. *Evroaziskij nauchnyj zhurnal*. 2016;6:317–328. (In Russ.)
 6. Sharavara AM, Khristoforova IA. PVC compositions and their application. *Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal = International Research Journal*. 2019;2(80):84–86. (In Russ.) <https://doi.org/10.23670/IRJ.2019.80.2.015>
 7. Khan A, Malvi CS. PVC Pipe Designer Furniture. *Journal of Polymer and Composites*. 2016;4(2):29–33.
 8. Shykhaliyev KS. Physical and mechanical properties of PVC product plasticized and sewed by non-limiting epoxy compounds and their basis. *Innovatsii v nauke*. 2017;12(73):54–58. (In Russ.)
 9. Makris KF, Langeveld J, Clemens FHLR. A review on the durability of PVC sewer pipes: research vs. practice. *Journal Structure and Infrastructure Engineering Maintenance, Management, Life-Cycle Design and Performance*. 2020;16(6):880–897. <https://doi.org/10.1080/15732479.2019.1673442>
 10. Asrasal A, Wahyudi SI, Adi HP, Heikoop R. Analysis of floating house platform stability using polyvinyl chloride (PVC) pipe material. *MATEC Web of Conferences*. 2018;195:8. <https://doi.org/10.1051/matecconf/201819502025>

11. Gutkovich SA, Mihalenko MG. Features of plasticized compositions based on polyvinyl chloride (PVC) with different molecular weights. *Fundamental'nye problemy sovremennogo materialovedeniya*. 2013;10(2):251–253. (In Russ.)
 12. Fenollar O, Garcia-Sanoguera D, Sanchez-Nacher L, Boronat T, López J, Balart R. Mechanical and Thermal Properties of Polyvinyl Chloride Plasticized with Natural Fatty Acid Esters. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*. 2013;52:761–767. <https://doi.org/10.1080/03602559.2013.763352>
 13. Anoshkin AN, Pospelov AB, Iakushev RM. Features of low-temperature deformation and fracture of combined plastic pipes. *Vestnik PNIPU. Mekhanika = PNRPU Mechanics Bulletin*. 2014;2:5–20. (In Russ.)
 14. Zheleznyak II, Stetyuha VA. Calculation of a pipe from a polymer material under an external load in a well in the rock mass of permafrost. *Izvestiya UGGU = News of the Ural State Mining University*. 2018;3(51):121–125. <https://doi.org/10.21440/2307-2091-2018-3-121-125> (In Russ.)
 15. Sinugin AA, Oparin VB, Petrovskaya MV. The determination of mechanical characteristics of polymers comprising a flexible pipe. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Tekhnicheskie nauki = Vestnik of Samara State Technical University. Technical Sciences Series*. 2015;4(48):116–123.
 16. Huang D, Tang A, Darli CM. Pipe-soil interaction at pipe bend under seismic load. *Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice*. 2020;11(3):04020023. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)PS.1949-1204.0000457](https://doi.org/10.1061/(ASCE)PS.1949-1204.0000457)
 17. Frank A, Messiha M, Koch T, Poduška J, Hutař P, Arbeiter F, et al. Correlation of the cyclic cracked round bar test and hydrostatic pressure test for unplasticized polyvinylchloride. *Polimer testing*. 2021;95:107125. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2021.107125>
 18. Alhamati AAN, Ghazali AH, Norzaie J, Mohammed NA, Kadir MRA. Investigation on the behavior of rigid polyvinylchloride pipes subjected to uniaxial compression loads. *American Journal of Applied Science*. 2006;7(3):1916–1923. <https://doi.org/10.3844/ajassp.2006.1916.1923>

Сведения об авторах

Алексеев Виктор Викторович,
кандидат химических наук,
доцент кафедры строительного
производства,
Иркутский национальный
исследовательский технический
университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
✉e-mail: alavic59@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9867-0496>

Суханова Ксения Михайловна,
магистрант,
Иркутский национальный
исследовательский технический
университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: sova_nu@mail.ru

Шестаков Александр Николаевич,
магистрант,
Иркутский национальный
исследовательский технический
университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,
Россия,
e-mail: shestakov.14@mail.ru

Яценко Владимир Петрович,
кандидат технических наук,
доцент кафедры механики и сопротивления
материалов,
Иркутский национальный
исследовательский технический
университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: vp_yashenko@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3800-0570>

Заявленный вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Статья поступила в редакцию 26.03.2021.
Одобрена после рецензирования 28.04.2021.
Принята к публикации 03.05.2021.

Information about the authors

Viktor V. Alekseenko,
Dr. Sci. (Chem.), Professor of the Department of
Construction Production,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
✉e-mail: alavic59@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9867-0496>

Ksenia M. Sukhanova,
Undergraduate student,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: sova_nu@mail.ru

Alexandr N. Shestakov,
Undergraduate student,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: shestakov.14@mail.ru

Vladimir P. Yashchenko,
Cand. Sci (Eng.), Associate Professor
of the Department of Mechanics and Strength
of Materials,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia,
e-mail: vp_yashenko@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3800-0570>

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article.

The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.

The article was submitted 26.03.2021.
Approved after reviewing 28.04.2021.
Accepted for publication 03.05.2021.