



Влияние состава на физико-механические характеристики модифицированных ПВХ

В.В. Алексеенко^{1✉}, А.Б. Гонжитов², С.П. Бугдаев³

^{1,2,3} Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия

Аннотация. Целью настоящей работы является создание композиций из поливинилхлорида, используемых в полимерных шлангах, изучение их состава и физико-механических характеристик. Поливинилхлорид является материалом нерастворимым в воде и устойчивым к воздействию слабых кислот, щелочей, спиртов и минеральных масел. Основные характеристики, ограничивающие применение гибких полимерных шлангов, включают упругость при низких температурах и стойкость к перегибам при положительных температурах. Гибкость шланга определяется свойствами пластифицированного поливинилхлорида, включая его максимальное удлинение при разрыве и толщину. Для изучения характеристик модифицированного поливинилхлорида был использован экструдер МиниТПА-100 для создания испытательных образцов. Охлаждение образцов производилось в специальной холодильной камере. Для измерения упругости использовалась стандартная схема растяжения на испытательной машине Instron 5980. Измерения проводились при температурах 20 °С, -40 °С и -50 °С. Исследование составов полимерных композиций проводилось методами экстракции с различными растворителями. Данные исследования позволяют оценить свойства полимерных композитов. Перед испытанием образцы выдерживались при заданных температурах. Скорость деформирования для всех образцов составляла 3 мм/сек. Предложенные лабораторные методики позволяют оценить большинство эксплуатационных характеристик композитов из поливинилхлорида. Полученные результаты свидетельствуют о том, что эксплуатационные характеристики гибких полимерных шлангов можно полностью предсказать на основе лабораторных испытаний материалов, из которых состоит шланг. Также результаты подтверждают перспективность работ по модификации поливинилхлорида с использованием термоэластопластов.

Ключевые слова: полимерные гибкие шланги, модифицированный поливинилхлорид, термоэластопласт, экструдер, полимерные композиты, экструзия

Для цитирования: Алексеенко В.В., Гонжитов А.Б., Бугдаев С.П. Влияние состава на физико-механические характеристики модифицированных ПВХ // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2024. Т. 14. № 1. С. 20–29. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-1-20-29>. EDN: YTBJWB.

Original article

Influence of composition on physical and mechanical properties of modified PVC

Viktor V. Alekseenko^{1✉}, Aldar B. Gonzhitov², Stas P. Bugdaev³

^{1,2,3} Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

Abstract. The present article aims to create polyvinyl chloride composites used in polymer hoses, to study their composition, as well as physical and mechanical characteristics. Polyvinyl chloride is a water-insoluble material, resistant to weak acids, alkalis, alcohols, and mineral oils. The main characteristics limiting the use of flexible polymer hoses include elasticity at low temperatures and bending resistance at positive temperatures. Hose flexibility is determined by the properties of plasticized polyvinyl chloride together with its ultimate elongation at break and thickness. To study the properties of modified polyvinyl chloride, a MiniTPA-100 extruder was used to create test samples. The samples were cooled in a special

© Алексеенко В.В., Гонжитов А.Б., Бугдаев С.П., 2024

refrigeration chamber. Elasticity measurements were performed employing a standard tensile testing scheme on an Instron 5980 testing machine. The measurements were taken at 20 °C, -40 °C, and -50 °C. The investigation of the compositions of polymer composites was conducted using extraction methods with various solvents. These studies enable one to evaluate the properties of polymer composites. Before testing, the samples were held at specified temperatures. The strain rate equaled 3 mm/sec for all samples. The proposed laboratory techniques give an opportunity to evaluate most of the performance characteristics of polyvinyl chloride composites. The obtained results indicate that the performance characteristics of flexible polymer hoses can be fully predicted based on laboratory testing of the materials composing the hose. The results also confirm the potential of work on polyvinyl chloride modification using thermoplastic elastomers.

Keywords: polymer flexible hoses, modified polyvinyl chloride, thermoplastic elastomer, extruder, polymer composites, extrusion

For citation: Aleksenko V.V., Gonzhitov A.B., Bugdaev S.P. Influence of composition on physical and mechanical properties of modified PVC. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2024;14(1):20-29. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-1-20-29>. EDN: YTBJBW.

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире гибкие полимерные трубы стали неотъемлемой составляющей повседневной жизни, нашли широкое применение в сельском хозяйстве, строительстве и различных секторах промышленности. Среди многочисленных материалов, применяемых для их производства, особое место занимает поливинилхлорид (ПВХ), который обладает рядом преимуществ. Этот материал устойчив к воздействию воды, слабых кислот и щелочей, спиртов и минеральных масел. Он обладает высокой механической прочностью, гибкостью, легким весом и доступной ценой. Характеристики полимерных труб в значительной мере определяются физико-механическими свойствами используемых материалов, а физико-механические свойства полимерных композиций определяются его составом. Наличие в композиции стабилизаторов, пластификаторов, наполнителей, модификаторов ударной прочности влияют на механические характеристики [1–2]. В настоящее время наиболее применимыми пластификаторами при составлении композиций шлангов являются пластификаторы из группы фталатов (ДОФ, ДИНФ) и адипинатов (ДОА, ДИОА) [3]. В жестких композициях ПВХ модификаторы ударной прочности не используют. Для этих материалов соответствующие прочность и ударная прочность могут быть достигнуты подбором ПВХ с высоким молекулярным весом как базового материала в композиции. Для достижения прочности повышают толщину изделия до тех пор, пока не будет достигнуто минимальное значение требуемой прочности. Таким путем поступают при изготовлении труб большого диаметра. Недостаток такой практики –

повышенный расход материала на единицу длины [4–8].

В таких изделиях как трубы или шланги стараются свести к минимуму рельеф поверхности, чтобы избежать концентрации напряжений, которые приводят к возникновению трещин, распространяющихся на всю поверхность изделия в чувствительном к надрезу материале, таком как ПВХ [9]. Гибкость труб зависит от максимального удлинения пластифицированного ПВХ при разрыве и его толщины. Важно, чтобы трубы были достаточно гибкими при низких температурах и сохраняли умеренную гибкость при повышенных. Устойчивость трубы к деформации под воздействием положительного и отрицательного давления во время эксплуатации определяется наличием армирующей спирали [10]. В ходе исследований были изучены прочность и упругость пластифицированного ПВХ, модифицированного различными полимерными добавками и наночастицами [11–15]. Также были рассмотрены возможности модификации жесткого ПВХ с использованием отходов от производства труб. В качестве наночастиц использовались композиты, содержащие 98 % нанотрубок, производимые фирмой OSSiAl, а в качестве термоэластопластов (ТЭП) высокой плотности применялись материалы фирмы ELASTOCOM. Было предположено, что добавка наночастиц может увеличить прочность композитов при высоких температурах, а добавка ТЭП – улучшить гибкость при низких температурах [16, 17].

МЕТОДЫ

Перед проведением испытаний модифицированных ПВХ проводилась идентификация полимерной композиции и анализ зависимости

состава на физико-механические характеристики. Идентификация состава проводилась на пластифицированной части полимерного шланга, т. к. именно его состав в большей степени определяет поведение композиции при различных температурах эксплуатации [17–18].

Механическая прочность ПВХ зависит от количества пластификатора в композиции. Однако молекулярная масса полимера также играет важную роль. При возрастании молекулярной массы наблюдается соответствующее возрастание прочности на растяжение. Это возрастание является линейным относительно характеристической вязкости (ХВ) во всем диапазоне обычных для ПВХ молекулярных масс [19–26].

На низкотемпературные свойства гибких материалов на основе ПВХ больше влияет тип и концентрация пластификатора, чем тип полимера [27, 28].

Однако грамотный выбор полимера может помочь улучшить низкотемпературные свойства композиций из пластифицированного ПВХ. Как и в случае с прочностью на разрыв низкотемпературные характеристики композиций пластифицированного ПВХ могут быть улучшены использованием полимеров большего молекулярного веса [29, 30].

Выделение пластификаторов из полимерной композиции проводилось экстракцией диэтиловым эфиром. Этот метод дает хорошие результаты с мономерными пластификаторами, но при анализе полимерных пластификаторов возникают сложности.

В исследуемых композициях зачастую встречались такие мономерные пластификаторы как диоктилфталат (ДОФ) и ди-(2-этилгексил) адипинат (ДОА). Их содержание в композициях составляло от 40 до 70 частей на 100 частей ПВХ. С увеличением содержания пластификатора уменьшается модуль упругости, что видно по табл. 1. Вместе с пластификатором экстрагируются большинство смазочных добавок и стабилизаторов.

Дальнейшее разделение проводилось экстракцией горячим метанолом, где выделялись остаточные стабилизаторы (стеарат кальция/цинка – их суммарное содержание в композиции 1–3 %) и эмульгаторы.

Нерастворимый остаток растворяли в тетрагидрофуране (ТГФ) с последующим центрифугированием 300 об/мин. Как известно, ПВХ растворяется в ТГФ и переходит в жидкую фазу.

В нерастворимом остатке остаются пигмент и наполнитель. К жидкой фазе приливали метанол, тем самым осаждали ПВХ (ТГФ/метанол 1:2,5 v/v). Фильтрат и остаток сушили при 80 °С

ровно 30 мин.

Для определения физико-механических характеристик модифицированных ПВХ были изготовлены образцы на лабораторном экструдере Мини ТПА-100. Они прошли испытания на растяжение при различных температурах с использованием испытательной машины Instron 5980 с климатической камерой.

Были изготовлены образцы с различными составами:

1. Жесткий ПВХ без добавок.
2. Жесткий ПВХ с добавлением отходов от производства шлангов в количестве 30 % от массы.
3. Пластифицированный ПВХ зимняя модификация без добавок.
4. Пластифицированный ПВХ зимняя модификация с добавлением наночастиц в объеме 1 % от массы.
5. Пластифицированный ПВХ летняя модификация с добавлением ТЭП в объеме 10 % от массы.
6. Пластифицированный ПВХ летняя модификация без добавок.
7. Пластифицированный ПВХ зимняя модификация с добавлением ТЭП в объеме 10 % от массы.

Лабораторный экструдер Мини ТПА-100 обладает тремя зонами нагрева, максимальной температурой обработки 400 °С и давлением впрыска 50 МПа, что позволяет создавать условия формования изделий, максимально приближенные к промышленному экструдеру.

Для получения физико-механических характеристик материалов образцы подвергались испытаниям на растяжение при температурах +20 °С, -40 °С и 50 °С с использованием испытательной машины Instron 5980 с климатической камерой, что позволяло проводить испытания при заданных температурах.

Таким образом, проведенные исследования позволяют оценить влияние добавок на физико-механические свойства поливинилхлоридных труб и определить их пригодность для различных условий эксплуатации.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Исследование ПВХ композитов при температуре +20 °С позволяет оценить характеристики полимерных композитов в летний период. Перед проведением испытаний образцы подвергались выдержке при температуре +20 °С.

Деформация определялась как отношение длины при растяжении к начальной длине образца.

Растяжение осуществлялось со скоростью 3 мм/сек. Результаты представлены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты испытаний материалов на растяжение при температуре 20 °С
Table 1. Results of tensile tests of materials at a temperature of 20 °С

Номер, описание образца	Толщина	Ширина	Длина	Модуль упругости	Деформативность
	(mm)	(mm)	(mm)	Мпа	%
1. ПВХ для спирали 100 %	4	10	12	553	15
2. ПВХ для спирали + отходы производства ПВХ шлангов (30 %)	4	10	12	465	20
3. Пластифицированный ПВХ зимняя модификация	4	10	12	3,7	>500
4. Пластифицированный ПВХ зимняя модификация + наночастицы	4	10	12	4,8	>500
5. Пластифицированный ПВХ летняя модификация + 10 % ТЭП	4	10	12	4,2	>500
6. Пластифицированный ПВХ летняя модификация	4	10	12	4,4	>500
7. Пластифицированный ПВХ зимняя модификация + 10 % ТЭП	4	10	12	5,0	>500

Полученные результаты исследований позволяют сделать следующие выводы:

Добавка отходов переработки к жесткому ПВХ незначительно снижает его модуль упругости (показатель жесткости спирали) и повышает его пластичность. Это свидетельствует о том, что добавка вторичных гранул экономически оправдана, особенно для шлангов небольших диаметров, где прочность спирали не является критичной для эксплуатации гибких шлангов.

Нанодобавки, как ожидалось, увеличивают жесткость пластифицированного ПВХ. Однако основной проблемой при использовании

нанодобавок является их высокая стоимость. Поэтому необходимо оценивать целесообразность применения нанодобавок в каждом конкретном случае. Добавки ТЭП повышают жесткость зимнего пластика ПВХ и практически не влияют на жесткость летней модификации. Учитывая более низкую стоимость ТЭП по сравнению с ПВХ, это перспективное направление модификации ПВХ, которое требует дальнейшего изучения различных составов. Дополнительно, ниже представлен график нагрузка-перемещение для испытаний на растяжение при температуре +20 °С (рис. 1).

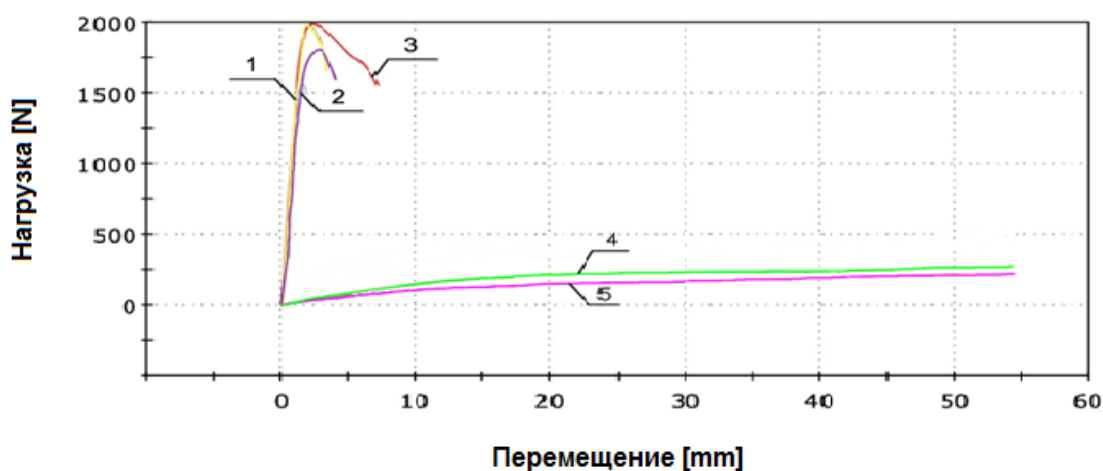


Рис. 1. Графики нагрузка-деформация при температуре +20 °С

1 – ПВХ для спирали + отходы (30 %); 2 – ПВХ для спирали + отходы (30 %);
 3 – ПВХ для спирали 100 %; 4 – пластифицированный ПВХ летняя модификация + 10 % ТЭП;
 5 – пластифицированный ПВХ зимняя модификация + 10 % ТЭП

Fig. 1. Load-deformation graphs at a temperature of +20 °С

1 – PVC for the spiral + waste (30 %); 2 – PVC for the spiral + waste (30 %); 3 – PVC for the spiral 100 %;
 4 – Plasticized PVC summer modification + 10 % thermoplastic elastomer;
 5 – Plasticized PVC winter modification + 10 % thermoplastic elastomer

Исследование ПВХ композитов при температуре -40°C позволяет оценить их морозостойкость, а также морозостойкость жесткого ПВХ, используемого для спирали.

Представленные данные позволяют

сравнить эффективность различных пластикаторов и модифицированного ПВХ в условиях низких температур.

Результаты исследований представлены в табл. 2.

Таблица 2. Результаты испытаний материалов на растяжение при температуре -40°C

Table 2. Results of tensile tests of materials at a temperature of -40°C

Номер, описание образца	Толщина	Ширина	Длина	Модуль упругости	Деформативность
	(mm)	(mm)	(mm)	Мпа	%
1. ПВХ для спирали 100 %	4	10	12	561,7	40
2. ПВХ для спирали + отходы производства ПВХ шлангов (30 %)	4	10	12	537,5	29
3. Пластифицированный ПВХ летняя модификация+ 10 % ТЭП	4	10	12	44,7	>500
4. Пластифицированный ПВХ зимняя модификация	4	10	12	14,6	>500
5. Пластифицированный ПВХ зимняя модификация+ наночастицы	4	10	12	8,6	>500
6. Пластифицированный ПВХ летняя модификация	4	10	12	44,8	>500

При температуре -40°C чистый материал для спирали, а также смешанный с вторичными гранулами, подвержены разрушению при небольших деформациях. Это означает, что жесткий ПВХ при таких температурах подвержен необратимой деформации, т. е. разрушению. Следовательно, полимерные шланги при значительных изгибных нагрузках при такой температуре будут подвержены необратимому разрушению. Добавка ТЭП практически не влияет на гибкость летней модификации, причем следует отметить, что летняя модификация пластика обладает высокой пластичностью даже при

температуре -40°C . Нанодобавка существенно снижает модуль упругости зимней модификации, однако этот эффект может быть связан с небольшим количеством измерений.

Исследование ПВХ композитов при температуре -50°C позволяет оценить максимальную морозостойкость различных пластикаторов и модифицированного ПВХ. Испытания проводились только для образцов, которые проявили достаточную пластичность при температуре -40°C .

Результаты исследований представлены в табл. 3.

Таблица 3. Результаты испытаний материалов на растяжение при температуре -50°C

Table 3. Results of tensile tests of materials at a temperature of -50°C

Номер, описание образца	Толщина	Ширина	Длина	Модуль упругости	Деформативность
	(mm)	(mm)	(mm)	Мпа	%
1. Пластифицированный ПВХ летняя модификация + 10 % ТЭП	4	10	12	256,5	300
2. Пластифицированный ПВХ зимняя модификация	4	10	12	28,2	>500
3. Пластифицированный ПВХ зимняя модификация + наночастицы	4	10	12	36,8	>500
4. Пластифицированный ПВХ летняя модификация	4	10	12	417,7	30
5. Пластифицированный ПВХ зимняя модификация + 10 % ТЭП	4	10	12	63,9	>500

Таким образом, добавка ТЭП в летнюю модификацию ПВХ повышает пластичность, хотя не достигает уровня зимней модификации ПВХ.

С другой стороны, добавка ТЭП в зимнюю модификацию увеличивает модуль упругости, что приводит к снижению гибкости шлангов.

Нанодобавка незначительно увеличивает модуль упругости зимней модификации ПВХ. Однако зимняя модификация ПВХ без каких-либо

добавок проявляет очень хорошую деформативность даже при таких низких температурах (рис. 2).

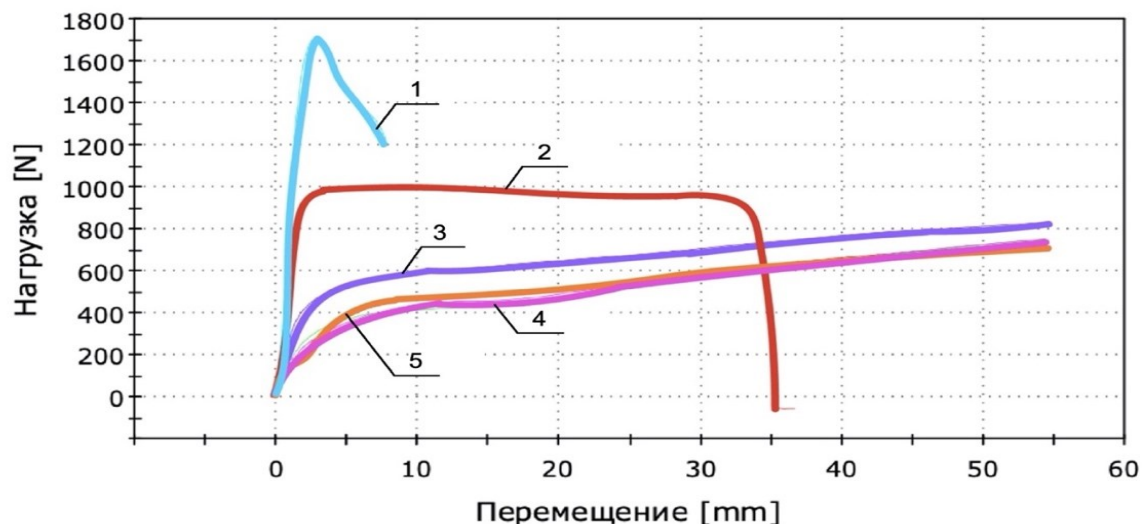


Рис. 2. Графики нагрузка-деформация при температуре -50 °С

1 – пластифицированный ПВХ летняя модификация; 2 – пластифицированный ПВХ летняя модификация + 10 % ТЭП; 3 – пластифицированный ПВХ зимняя модификация + 10 % ТЭП; 4 – пластифицированный ПВХ зимняя модификация + наночастицы; 5 – пластифицированный ПВХ зимняя модификация

Fig. 2. Load-deformation graphs at a temperature -50 °C

1 – plasticized PVC summer modification; 2 – plasticized PVC summer modification + 10 % thermoplastic elastomer; 3 – plasticized PVC winter modification + 10 % thermoplastic elastomer; 4 – plasticized PVC winter modification + nanoparticles; 5 – plasticized PVC winter modification

ВЫВОДЫ

Проведенные исследования демонстрируют, что эксплуатационные характеристики гибких полимерных шлангов могут быть полностью предсказаны на основе лабораторных испытаний как материалов, так и самого шланга. Испытательная машина Instron 5980 с климатической камерой позволяет исследовать физико-механические свойства полимерных материалов в широком диапазоне температур от -70 °С до +130 °С.

Лабораторные методики оценки эксплуатационных характеристик гибких полимерных шлангов с полимерной армирующей спиралью

позволяют прогнозировать их поведение и разрабатывать новые композиционные составы с уникальными физико-механическими характеристиками.

Полученные результаты подтверждают перспективность работ по модификации ПВХ с использованием ТЭП. Помимо улучшения некоторых физико-механических показателей, ТЭП улучшают процесс экструзии ПВХ пластикатов. Одновременно показано, что вторичные гранулы не существенно снижают модуль упругости жесткого ПВХ, поэтому их можно использовать при производстве шлангов диаметром 75 мм и менее.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Rodolfo A.Jr. Application of Fracture Mechanics for the Characterization of PVC Pipes. I. Evaluation of the Applicability of the EWF Technique in Specimens Produced Directly from Pipes. Journal of Vinyl and Additive Technology. 2021. Vol. 27. Iss. 2. P. 240–253. <https://doi.org/10.1002/vnl.21798>.
2. Rodolfo A.Jr., John V.M. Application of Fracture Mechanics for the Characterization of Poly (Vinyl Chloride) Pipes. II. Evaluation of a Ring-Type Specimen for Fracture Mechanics Testing // Journal of Vinyl and Additive Technology. 2021. Vol. 27. Iss. 4. P. 806–820. <https://doi.org/10.1002/vnl.21852>.
3. Luming Dong, Yanyue Su, Yafei Qiao, Ruotong Li, Jianzhong Xu, Yajun Chen, Haiyun Ma Structure Regulation of Boron-Doped Calcium Hydroxystannate and its Enhancement on Flame Retardancy and Mechanical Properties of PVC // Polymers for Advanced Technologies. 2021. Vol. 32. Iss. 4. P. 1831–1843. <https://doi.org/10.1002/pat.5224>.

4. Bhumi Reddy Srinivasulu Reddy, Mookala Premasudha, Bharat B. Panigrahi, Kwon-Koo Cho, Nagireddy Gari Subba Reddy Modeling Constituent–Property Relationship of Polyvinylchloride Composites by Neural Networks // *Polymer Composites*. 2020. Vol. 41. Iss. 8. P. 3208–3217. <https://doi.org/10.1002/pc.25612>.
5. Xinwu Huang, Nong Tian, Tingmei Wang, Kun Wang, Qunji Xue Friction and Wear Properties of NBR/PVC Composites // *Journal of Applied Polymer Science*. 2007. Vol. 106. Iss. 4. P. 2565–2570. <https://doi.org/10.1002/app.25316>.
6. Nguyen Thi Thuy, Vu Minh Duc The Epoxidized Linseed Oil as a Secondary Plasticizer in PVC Processing // *Vietnam Journal of Chemistry*. 2020. Vol. 58. Iss. 4. P. 534–539. <https://doi.org/10.1002/vjch.202000023>.
7. Nadia A. Mohamed, Nouf F. Al-Harby Enhancement of the Thermal Stability of PVC Filled with Multiwalled Carbon Nanotubes Using New Antimicrobial Itaconimido Aryl 1,3,4-Oxadiazoles // *Polymer Composites*. 2021. Vol. 42. Iss. 3. P. 1245–1257. <https://doi.org/10.1002/pc.25897>.
8. Omdeo K.G., Manoranjan B., Smita M., Sanjay K.N. Study on Thermal, Mechanical and Morphological Properties of Recycled Poly(Vinyl Chloride)/Fly Ash Composites // *Polymer International*. 2020. Vol. 69. Iss. 6. P. 552–563. <https://doi.org/10.1002/pi.5988>.
9. Atikler U., Basalp D., Tihminlioğlu F. Mechanical and Morphological Properties of Recycled High-Density Polyethylene, Filled With Calcium Carbonate and Fly Ash // *Journal of Applied Polymer Science*. 2006. Vol. 102. Iss. 5. P. 4460–4467. <https://doi.org/10.1002/app.24772>.
10. Barrut B., Blancheton J.-P., Champagne J.-Y., Grasmick A. Mass Transfer Efficiency of a Vacuum Airlift–Application to Water Recycling in Aquaculture Systems // *Aquacultural Engineering*. 2012. Vol. 46. P. 18–28. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2011.10.004>.
11. Ming Gao, Mei Wan, Xuan Zhou Thermal Degradation and Flame Retardancy of Flexible Polyvinyl Chloride Containing Solid Superacid // *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 2019. Vol. 138. P. 387–396. <https://doi.org/10.1007/s10973-019-08219-3>.
12. Chenglin Zhang, Benben Song, Jianjun Shan, Qi Ni, Fan Wu, Shiming Wang Design and Optimization of a New Tube Aeration Device // *Aquaculture International*. 2020. Vol. 28. P. 985–999. <https://doi.org/10.1007/s10499-020-00507-2>.
13. Petrukhina N.N., Golubeva M.A., Maksimov A.L. Synthesis and Use of Hydrogenated Polymers // *Russian Journal of Applied Chemistry*. 2019. Vol. 92. P. 715–733. <https://doi.org/10.1134/S1070427219060016>.
14. Dharmaraj M.M., Chakraborty B.C., Begum S., Natarajan R., Chandramohan S. Effect of Nanoclay Reinforcing Filler in Nitrile Rubber/Polyvinyl Chloride Blend: Frequency Response of Dynamic Viscoelasticity and Vibration Damping // *Iranian Polymer Journal*. 2022. Vol. 31. P. 1247–1261. <https://doi.org/10.1007/s13726-022-01074-4>.
15. Zlatanić A., Lava C., Wei Zhang, Petrović Z.S. Effect of Structure on Properties of Polyols and Polyurethanes Based on Different Vegetable Oils // *Journal of Polymer Science*. 2004. Vol. 42. Iss. 5. P. 809–819. <https://doi.org/10.1002/polb.10737>.
16. 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>. EDN: POWFFN.
17. Москвичева М.А., Каблов В.Ф., Кейбал Н.А., Крекалева Т.В., Степанова А.Г., Соболева О.К. Влияния минеральных наполнителей на эксплуатационные свойства ПВХ-композиции // *Форум молодых ученых*. 2020. № 12 (52). С. 380–383. Режим доступа: <https://sciup.org/140287533> (дата обращения: 21.11.2023).
18. Сосницкая А.С., Свечникова В.А. Исследование свойств композиций на основе ПВХ, наполненных мелом // 69-я науч.-тех. конф. учащихся, студентов и магистрантов: сб. науч. работ в 4-х частях (г. Минск, 02–13 апреля 2018 г.). Минск, 2018. Ч. 2. С. 128–130. EDN: IKKQQI.
19. Зарипов И.И., Вихарева И.Н., Мазитова К.А., Шевелёв И.Н., Мазитова А.К. Влияние нанодобавок на свойства ПВХ-композиции // *Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал*. 2022. Т. 14. № 3. С. 205–210. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2022-14-3-205-210>. EDN: BQNGRC.
20. Лутфуллаев С.Ш., Джумаева А.А.К. Исследование влияния наполнителей на свойства ПВХ-композиции // *UNIVERSUM: технические науки*. 2022. № 12-5 (105). С. 48–52. <https://doi.org/10.32743/UniTech.2022.105.12.14755>. EDN: YEPVWE.
21. Крошл П. Выбор типа ПВХ для разработки композиций // *Светопрозрачные конструкции*. 2019. № 3–4 (125–126). С. 44–55. EDN: EBJIZI.
22. Крошл П. Выбор полимера для конкретных применений жестких композиций ПВХ // *Светопрозрачные конструкции*. 2019. № 5–6 (127–128). С. 64–75. EDN: ХКМААР.
23. Гроссман Ф. Руководство по разработке композиций на основе ПВХ // *Светопрозрачные конструкции*. 2018. № 5–6 (121–122). С. 52–58. EDN: YTLBZB.
24. Уилки Ч., Саммерс Дж., Даниэлс Ч. Поливинилхлорид. СПб.: Центр образовательных программ «Профессия», 2007. 800 с.
25. Штаркман Б.П. Основы разработки термопластичных полимерных материалов. Н. Новгород: Нижегородский гуманитарный центр, 2004. 328 с.

26. Галимов Э.Р., Мухин А.М., Галимова Н.Я., Шибиков В.Г. Композиционные материалы на основе поливинилхлорида, дисперсных наполнителей и полимерных модификаторов. Набережные Челны: Издательско-полиграфический центр Камской государственной инженерно-экономической академии, 2012. 170 с.
27. Glazkovskii Y.V., Zgayevskii V.E., Ruchinskii S.P., Bakardzhiyev N.M. IR Spectroscopic Study of the Temperature Behaviour of Conformational Transitions in Polyvinylchloride // *Polymer science U.S.S.R.* 1966. Vol. 8. Iss. 8. P. 1622–1628. [https://doi.org/10.1016/0032-3950\(66\)90184-5](https://doi.org/10.1016/0032-3950(66)90184-5). EDN: XKRLEE.
28. Симонов-Емельянов И.Д., Густова Е.В., Макаров В.Л., Кулезнев В.Н. Оценка термостабильности литевых материалов на основе жесткого ПВХ // *Пластические массы*. 1984. № 2. С. 26–28.
29. Кулезнева В.Н., Гусева В.К. Технология переработки полимеров. Ч. 1. Основы технологии переработки пластмасс. М.: Химия, 2004. 600 с.
30. Аскадский А.А., Кондращенко В.И. Компьютерное материаловедение полимеров. Т. 1: Атомно-молекулярный уровень. М.: Научный мир, 1999. 544 с.

REFERENCES

1. Rodolfo A.Jr. Application of Fracture Mechanics for the Characterization of PVC Pipes. I. Evaluation of the Applicability of the EWF Technique in Specimens Produced Directly from Pipes. *Journal of Vinyl and Additive Technology*. 2021;27;2:240-253. <https://doi.org/10.1002/vnl.21798>.
2. Rodolfo A.Jr., John V.M. Application of Fracture Mechanics for the Characterization of Poly (Vinyl Chloride) Pipes. II. Evaluation of a Ring-Type Specimen for Fracture Mechanics Testing. *Journal of Vinyl and Additive Technology*. 2021;27;4:806-820. <https://doi.org/10.1002/vnl.21852>.
3. Luming Dong, Yanyue Su, Yafei Qiao, Ruotong Li, Jianzhong Xu, Yajun Chen, Haiyun Ma Structure Regulation of Boron-Doped Calcium Hydroxystannate and its Enhancement on Flame Retardancy and Mechanical Properties of PVC. *Polymers for Advanced Technologies*. 2021;32;4:1831-1843. <https://doi.org/10.1002/pat.5224>.
4. Bhumi Reddy Srinivasulu Reddy, Mookala Premasudha, Bharat B. Panigrahi, Kwon-Koo Cho, Nagireddy Gari Subba Reddy Modeling Constituent–Property Relationship of Polyvinylchloride Composites by Neural Networks. *Polymer Composites*. 2020;41;8:3208-3217. <https://doi.org/10.1002/pc.25612>.
5. Xinwu Huang, Nong Tian, Tingmei Wang, Kun Wang, Qunji Xue Friction and Wear Properties of NBR/PVC Composites. *Journal of Applied Polymer Science*. 2007;106;4: 2565-2570. <https://doi.org/10.1002/app.25316>.
6. Nguyen Thi Thuy, Vu Minh Duc The Epoxidized Linseed Oil as a Secondary Plasticizer in PVC Processing. *Vietnam Journal of Chemistry*. 2020;58;4:534-539. <https://doi.org/10.1002/vjch.202000023>.
7. Nadia A. Mohamed, Nouf F. Al-Harby Enhancement of the Thermal Stability of PVC Filled with Multiwalled Carbon Nanotubes Using New Antimicrobial Itaconimido Aryl 1,3,4-Oxadiazoles. *Polymer Composites*. 2021;42;3:1245-1257. <https://doi.org/10.1002/pc.25897>.
8. Omdeo K.G., Manoranjan B., Smita M., Sanjay K.N. Study on Thermal, Mechanical and Morphological Properties of Recycled Poly(Vinyl Chloride)/Fly Ash Composites. *Polymer International*. 2020;69;6:552-563. <https://doi.org/10.1002/pi.5988>.
9. Atikler U., Basalp D., Tihminlioğlu F. Mechanical and Morphological Properties of Recycled High-Density Polyethylene, Filled With Calcium Carbonate and Fly Ash. *Journal of Applied Polymer Science*. 2006;102;5:4460-4467. <https://doi.org/10.1002/app.24772>.
10. Barrut B., Blancheton J.-P., Champagne J.-Y., Grasmick A. Mass Transfer Efficiency of a Vacuum Airlift–Application to Water Recycling in Aquaculture Systems. *Aquacultural Engineering*. 2012;46:18-28. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2011.10.004>.
11. Ming Gao, Mei Wan, Xuan Zhou Thermal Degradation and Flame Retardancy of Flexible Polyvinyl Chloride Containing Solid Superacid. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 2019;138;387-396. <https://doi.org/10.1007/s10973-019-08219-3>.
12. Chenglin Zhang, Benben Song, Jianjun Shan, Qi Ni, Fan Wu, Shiming Wang Design and Optimization of a New Tube Aeration Device. *Aquaculture International*. 2020;28:985-999. <https://doi.org/10.1007/s10499-020-00507-2>.
13. Petrukhina N.N., Golubeva M.A., Maksimov A.L. Synthesis and Use of Hydrogenated Polymers. *Russian Journal of Applied Chemistry*. 2019;92:715-733. <https://doi.org/10.1134/S1070427219060016>.
14. Dharmaraj M.M., Chakraborty B.C., Begum S., Natarajan R., Chandramohan S. Effect of Nanoclay Reinforcing Filler in Nitrile Rubber/Polyvinyl Chloride Blend: Frequency Response of Dynamic Viscoelasticity and Vibration Damping. *Iranian Polymer Journal*. 2022;31:1247-1261. <https://doi.org/10.1007/s13726-022-01074-4>.
15. Zlatanić A., Lava C., Wei Zhang, Petrović Z.S. Effect of Structure on Properties of Polyols

- and Polyurethanes Based on Different Vegetable Oils. *Journal of Polymer Science*. 2004;42;5:809-819. <https://doi.org/10.1002/polb.10737>.
16. Sharavara A.M., Khristoforova I.A. 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>. EDN: POWFFN.
17. Moskvicheva M.A., Kablov V.F., Keibal N.A., Krekaleva T.V., Stepanova A.G., Soboleva O.K. Influence of Mineral Fillers on the Performance Properties of PVC Compositions. *Forum molodykh uchenykh = Young Scientists Forum*. 2020;12(52):380-383. Available from: <https://sciup.org/140287533> [Accessed 17th November 2023]. (In Russ.).
18. Sosnitskaya A.S., Svechnikova V.A. Study of the properties of PVC-based compositions filled with chalk. In: *69-ya nauchno-tehnicheskaya konferentsiya uchashchikhsya, studentov i magistrantov sbornik nauchnykh rabot v 4-kh chastyakh = 69th Scientific and Technical Conference of Students and Undergraduates: A Collection of Scientific Works in 4 Parts*. 02–13 April 2018, Minsk. Minsk; 2018. Part. 2. P. 128-130. (In Russ.). EDN: IKKQQI.
19. Zaripov I.I., Vikhareva I.N., Mazitova K.A., Shevelev I.N., Mazitova A.K. Influence of Nanoadditives on PVC Composition Properties. *Nanotehnologii v stroitel'stve: nauchnyj internet-zhurnal = Nanotechnologies in Construction: A Scientific Internet-Journal*. 2022;14;3:205-210. (In Russ.). <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2022-14-3-205-210>. EDN: BQNGRC.
20. Lutfullayev S. Sh., Djumaeva A.A.K. Study of The Influence of Fillers On the Properties of PVC Composition. *UNIVERSUM: tekhnicheskie nauki = Universum: technical sciences* 2022;12-5(105):48-52. (In Russ.). <https://doi.org/10.32743/UniTech.2022.105.12.14755>. EDN: YEPVWE.
21. Kroshl P. Selecting The Type of PVC for Developing Compositions. *Svetoprozrachnye konstruksii = Translucent structures*. 2019;3–4(125–126):44-55. (In Russ.). EDN: EBJIZI.
22. Kroshl P. Resin Selection for Specific Applications of Rigid PVC Compositions. *Svetoprozrachnye konstruksii = Translucent structures*. 2019;5–6(127–128):64-75. (In Russ.). EDN: XKMAAP.
23. Grossman F. Guidelines for The Development of PVC-Based Compositions. *Svetoprozrachnye konstruksii = Translucent structures*. 2018;5–6(121–122):52-58. (In Russ.). EDN: YTLBZB.
24. Uilki Ch., Sammers Dzh., Daniels Ch. *Polyvinylchloride*. St. Petersburg: Center for Educational Programs "Profession"; 2007. 800 p. (In Russ.).
25. Shtarkman B.P. *Fundamentals of The Development of Thermoplastic Polymer Materials*. Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod Humanitarian Center; 2004. 328 p. (In Russ.).
26. Galimov E.R., Mukhin A.M., Galimova N.Ya., Shibakov V.G. *Composite Materials Based on Polyvinyl Chloride, Dispersed Fillers and Polymer Modifiers*. Naberezhnye Chelny: Publishing and Printing Center of the Kama State Engineering and Economic Academy; 2012. 170 p. (In Russ.).
27. Glazkovskii Y.V., Zgayevskii V.E., Ruchinskii S.P., Bakardzhiyev N.M. IR Spectroscopic Study of the Temperature Behaviour of Conformational Transitions in Polyvinylchloride. *Polymer science U.S.S.R.* 1966;8;8:1622-1628. [https://doi.org/10.1016/0032-3950\(66\)90184-5](https://doi.org/10.1016/0032-3950(66)90184-5). EDN: XKRLEE.
28. Simonov-Emel'yanov I.D., Gustova E.V., Makarov V.L., Kuleznev V.N. Evaluation of The Thermal Stability of Injection Molded Materials Based on Rigid PVC. *Plasticheskie massy = Plastics*. 1984;2:26-28. (In Russ.).
29. Kulezneva V.N., Guseva V.K. *Polymer Processing Technology. Part 1. Fundamentals of Plastics Processing Technology*. Moscow: Chemistry; 2004. 600 p. (In Russ.).
30. Askadskii A.A., Kondrashchenko V.I. *Computer Materials Science of Polymers. T. 1: Atomic-Molecular Level*. Moscow: Scientific World; 1999. 544 p. (In Russ.).

Информация об авторах**Алексеев Виктор Викторович,**

к.х.н., доцент,
доцент кафедры строительного производства,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,
Россия,
✉ e-mail: alavic59@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-9867-0496>
Author ID: 190462

Information about the authors**Viktor V. Alekseenko,**

Cand. of Sci. (Chem.), Associate Professor,
Associate Professor, Department of Construction
Production,
Irkutsk National Research
Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
✉ e-mail: alavic59@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-9867-0496>
Author ID: 190462

Гонжитов Алдар Борисович,
аспирант,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: gonzhitow1999@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-9867-0496>
Author ID: 1237945

Aldar B. Gonzhitov,
Postgraduate Student,
Irkutsk National Research
Technical university,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: gonzhitow1999@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-9867-0496>
Author ID: 1237945

Бугдаев Стас Прокопьевич,
магистрант,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: bugdaev42@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0005-9460-5805>
Author ID: 939238

Stas P. Bugdaev,
Master's Student,
Irkutsk National Research
Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia,
e-mail: bugdaev42@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0005-9460-5805>
Author ID: 939238

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests

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

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

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

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 21.11.2023.
Одобрена после рецензирования 19.12.2023.
Принята к публикации 21.12.2023.

Information about the article

The article was submitted 21.11.2023.
Approved after reviewing 19.12.2023.
Accepted for publication 21.12.2023.