

Научная статья

УДК 678.743.22

<https://doi.org/10.15828/2075-8545-2022-14-5-373-380>

CC BY 4.0

Разработка экологически безопасных поливинилхлоридных композиций

Альбина Рафитовна Маскова* , Гульнара Ульфатовна Ярмухаметова ,
Диана Фидратовна Кинзябулатова , Любовь Зелиховна Рольник 

Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Республика Башкортостан, Россия

* Автор, ответственный за переписку: e-mail: asunasf@mail.ru

АННОТАЦИЯ: Введение. Поливинилхлорид (ПВХ) относится к наиболее важным в экономике полимерам. Благодаря своей универсальности этот материал сейчас встречается в самых разных продуктах, используемых в повседневной жизни. Широкий спектр физико-механических свойств ему придает использование добавок, основными из которых являются пластификаторы. Наиболее распространенными по объему потребления являются эфиры ортофталевой кислоты, в частности, дибутилфталат (ДБФ), диоктилфталат (ДОФ), диизононилфталат (ДИНФ), диизодецилфталат (ДИДФ). Фталаты хорошо совмещаются с полимерами, придают им высокие физико-механические свойства, поэтому пластикаты на их основе широко применяются в строительном секторе, технике, а также в сельском хозяйстве и в быту. Многочисленными исследованиями изделий, изготовленных из пластифицированного ПВХ, проведенными в разных странах, установлено неблагоприятное воздействие ДОФ на здоровье человека, что повлекло за собой ограничение областей его применения. Устанавливаемые законодательством запреты и растущее давление со стороны потребителей вынуждают производителей ПВХ-пластиков искать экологически безопасную замену ДОФ.

Методы и материалы. В работе исследована возможность создания более экологичных ПВХ-пластиков с использованием смеси пластификаторов: промышленных диоктилфталата и диизононилфталата и разработанного нами дибутоксизтилфталата (ДБОЭФ). Выбор данных пластификаторов основан на том, что ДИНФ и ДБОЭФ, в отличие от диоктилфталата, относятся к 3-му классу опасности. **Результаты и обсуждение.** В ходе корреляционно-регрессионного анализа получена тесная функциональная взаимосвязь между применяемыми добавками и характеристиками ПВХ, что подтверждено рассчитанным коэффициентом детерминации. Методом нелинейного программирования, примененного к построенным полиномиальным зависимостям третьего порядка, установлено, что в базовой рецептуре ПВХ-композиции перспективно заменять до 25 масс.ч. ДОФ на пластификатор ДИНФ. Совместное использование промышленных пластификаторов ДОФ и ДИНФ, а также разработанного ДБОЭФ в рецептуре ПВХ-композиций свидетельствует об увеличении пластичности и технологичности. Вероятно, это можно объяснить синергическим влиянием исследуемых пластификаторов. Исследована зависимость свойств и содержания пластификаторов ДБОЭФ и ДИНФ в виде поверхности второго порядка на основе полученных экспериментальных данных, изучены линии уровня построенной функции двух переменных, в результате чего установлено, что наибольший эффект достигается при дозировке: ДОФ – 25 масс.ч., ДИНФ – 5 масс.ч. и ДБОЭФ – 20 масс.ч. на 100 масс.ч. ПВХ. **Заключение.** Полученные результаты исследований показывают, что предложенная рецептура ПВХ-композиции позволяет снизить токсичность используемых пластификаторов на 50 % и улучшить физико-механические и технологические характеристики компаундов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: диизононилфталат, диоктилфталат, корреляция, методы оптимизации, нелинейное программирование, относительное удлинение при разрыве, ПВХ-пластик, пластификатор, показатель текучести расплава, поливинилхлорид, прочность при разрыве, регрессия, термостабильность, эфир ортофталевой кислоты.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Маскова А.Р., Ярмухаметова Г.У., Кинзябулатова Д.Ф., Рольник Л.З. Разработка экологически безопасных поливинилхлоридных композиций // Нанотехнологии в строительстве. 2022. Т. 14, № 5. С. 373–380. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2022-14-5-373-380>. – EDN: KZLPZZ.

ВВЕДЕНИЕ

Современная промышленность постоянно требует улучшения технических и потребительских свойств полимерных материалов для производства широкого спектра продукции. Поэтому актуальны

исследования по получению и изучению свойств новых полимерных композитов на базе известных крупнотоннажных полимеров [1–5].

Одним из наиболее часто используемых в промышленности крупнотоннажных полимеров является поливинилхлорид (ПВХ). Разностороннее

© Маскова А.Р., Ярмухаметова Г.У., Кинзябулатова Д.Ф., Рольник Л.З., 2022

применение находит как непластифицированный, так и пластифицированный ПВХ для производства строительных и отделочных изделий, упаковочных материалов для продуктов питания и фармацевтических изделий, пластификатов для легкой промышленности и во множестве других областей производства потребительских и промышленных товаров [6–12].

При получении пластифицированного ПВХ используются различные пластификаторы, которые придают пластичность и эластичность в процессе переработки и эксплуатации. Данные добавки упрощают диспергирование компонентов смеси, понижают температуру технологической обработки полимерных композиций, повышают морозостойкость пластикатов, но могут отрицательно влиять на теплостойкость. Некоторые виды пластификаторов способны повышать огне-, свето- и термостойкость полимерных композитов.

В настоящее время во всем мире производится около 100 различных пластификаторов и только 50 из них являются коммерчески важными, при этом 80% мирового рынка данных добавок приходится на семь пластификаторов. Большую часть из них (100–150 наименований) составляют пластификаторы фталатного типа, причем в большинстве случаев применяют сложные эфиры ортофталевой кислоты, как дибутилфталат (ДБФ), ди-(2-этилгексил)фталат (диоктилфталат или ДОФ), диизононилфталат (ДИНФ) и диизодецилфталат (ДИДФ), т.к. из существующих трех изомерных форм фталевой кислоты (ортофталаты, изофталаты, терефталаты) первые являются наиболее популярными из-за доступности, дешевизны и высоких модифицирующих свойств [13–24]. В связи с этим неудивительно, что интерес исследователей к изучению возможностей расширения ассортимента сложноэфирных пластификаторов ортофталевой кислоты не ослабевает и в настоящее время.

ДОФ обладает оптимальными пластифицирующими свойствами при невысокой стоимости и на сегодняшний день остается стандартным международным пластификатором ПВХ, требования к другим пластификаторам согласуются с характеристиками ДОФ. Лидирующее положение диоктилфталата и по сей день определяется, прежде всего, развитием производства гибкого ПВХ – самого большого потребителя ДОФ [18, 22–24].

Однако, в противовес всем перечисленным достоинствам, ДОФ имеет существенный недостаток. Согласно проведенной экспертизе европейских ученых, ПВХ-изделия, пластифицированные ДОФ, оказались опасными для здоровья, что повлекло запрет на производство и продажу в Европе некоторых изделий.

В связи с вышесказанным доля потребления ДОФ имеет тенденцию к постепенному снижению. Хотя

замена ДОФ на другие пластификаторы не всегда возможна, так как это влечет за собой увеличение стоимости продукта, и, кроме того, не всегда достигаются такие качества конечного продукта, как гибкость и прозрачность, тем не менее, ужесточающиеся требования заставляют компании, производящие пластификаторы, выделять средства на поиски и разработку других безопасных пластификаторов для ПВХ-материалов.

Поэтому в последние годы неуклонно растут требования к эксплуатационным и технологическим свойствам материалов, получаемых на основе поливинилхлорида, что, в свою очередь, ужесточает требования к качеству используемых добавок.

Действенным методом повышения экологической безопасности эластичного ПВХ является замена токсичного диоктилфталата на более безопасные фталаты [25, 26]. В связи с этим нами исследована возможность создания более экологичных ПВХ-пластикатов с использованием смеси пластификаторов: промышленных диоктилфталата и диизононилфталата и разработанного нами дибутоксидилфталата (ДБОЭФ). Выбор данных пластификаторов основан на том, что ДИНФ и ДБОЭФ, в отличие от диоктилфталата, относятся к 3-му классу опасности.

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

При исследовании эффективности действия фталатных пластификаторов за основу была взята промышленная рецептура, состав которой приведен в табл. 1. ПВХ-композиции готовили в лабораторном смесителе и пластифицировали на вальцах при температуре 160°C. В качестве пластификаторов были выбраны промышленные фталатные пластификаторы диоктилфталат, и диизононилфталат, и разработанный нами ранее дибутоксидилфталат, способ получения и физико-химические свойства которого приведены в работе [27, 28].

Пластификатор пригоден для получения пленок при нормальном давлении и нагревании при 160°C

Таблица 1
Состав ПВХ-рецептуры

Наименование компонента	Количество вводимого компонента, масс.ч.
Поливинилхлорид	100
Пластификатор	50
Стеарат кальция	1,5
ТОСС	2,5
Дифенилолпропан	0,25

РАЗРАБОТКА НОВЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

в течение 10 мин, если критическая температура растворения ($K_{тр}$) полимера в пластификаторе соответствует (90–135)°С, а выше этой температуры растворяющая способность пластификатора уменьшается [20, 21].

Факт зависимости температуры переработки ПВХ пластиков от $K_{тр}$ полимера удовлетворительным образом подтверждается на практике. Согласно проведенным исследованиям, критическая температура растворения ПВХ в разработанном пластификаторе составила 119°С (для сравнения, значение данного показателя для серийного ДОФ равно 118°С).

В первой серии тестов были изготовлены образцы пленок, пластифицированные диоктилфталатом

(образец I). Диизоноилфталат вводили в рецептуру в качестве частичного (образцы II–X) и полного заместителя ДОФ (образец XI). При этом общее количество пластификаторов в ПВХ-пластикатах оставалось постоянным. Соотношения пластификаторов в рецептуре приведено в табл. 2. Физико-механические свойства ПВХ-пластиков определяли в соответствии с ГОСТ 11262, результаты испытаний которых графически изображены на рис. 1–3.

На следующем этапе была исследована функциональная взаимосвязь между применяемыми добавками и характеристиками ПВХ и определено оптимальное содержание ДИНФ и ДОФ в составе ПВХ-композиции.

Таблица 2

Соотношение диоктилфталата и диизоноилфталата в ПВХ-композиции

Номер образца	Содержание пластификатора, масс.ч./100 масс.ч. ПВХ			Номер образца	Содержание пластификатора, масс.ч./100 масс.ч. ПВХ		
	Общее	ДОФ	ДИНФ		Общее	ДОФ	ДИНФ
I	50	50	–	VI	50	25	25
II	50	45	5	VII	50	20	30
III	50	40	10	VIII	50	15	35
IV	50	35	15	IX	50	10	40
V	50	30	20	X	50	5	45
				XI	50	–	50

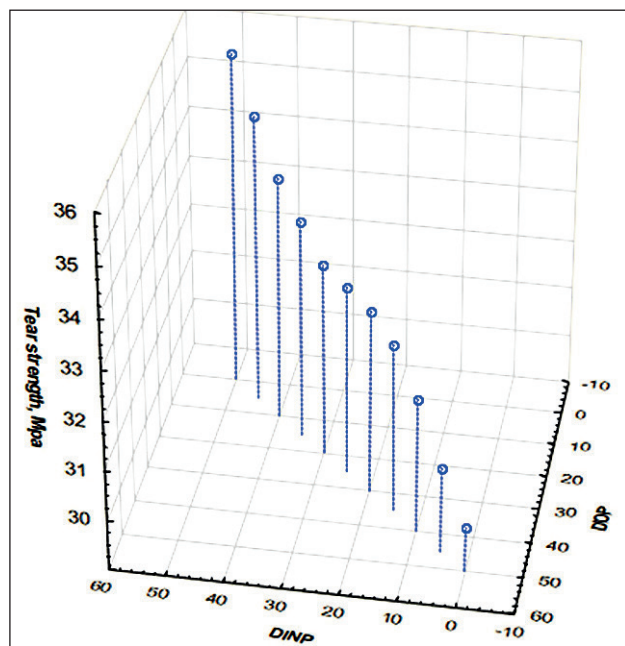


Рис. 1. Влияние концентрации пластификаторов на прочность при разрыве ПВХ-композиции

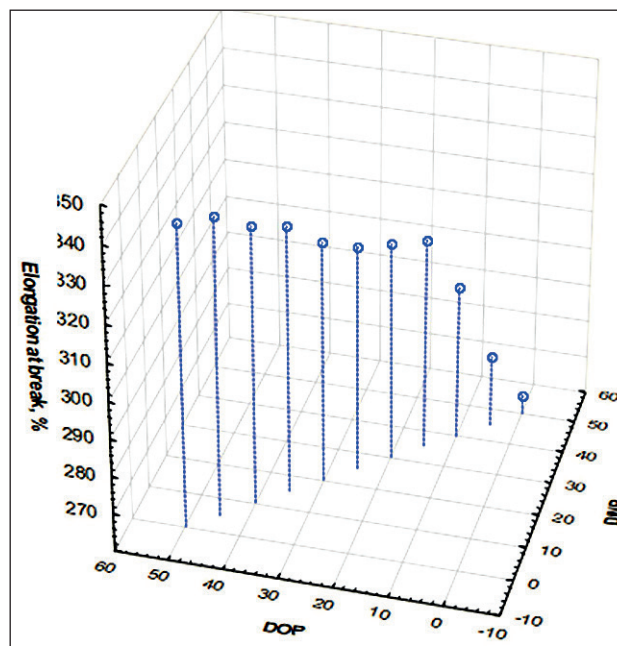


Рис. 2. Влияние концентрации пластификаторов на относительное удлинение при разрыве ПВХ-композиции

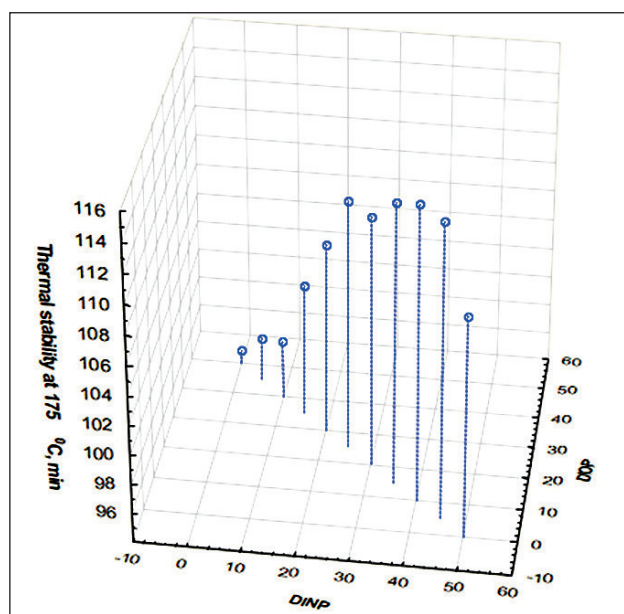


Рис. 3. Влияние концентрации пластификаторов на термостабильность ПВХ-композиции

Составлена математическая модель, на основе которой была установлена полиномиальная зависимость третьей степени в виде [29]:

$$H = a_1x^3 + a_2x^2 + a_3x + a_4 \quad (1)$$

где H – физико-механический или технологический показатель; a_1, a_2, a_3, a_4 – параметры полиномиальной регрессионной модели (1), рассчитанные методом наименьших квадратов; x – содержание пластификатора ДИНФ, масс.ч.

Результаты корреляционного и регрессионного анализа для полученных в результате эксперимента данных приведены в табл. 3.

По результатам статистического анализа были определены параметры модели (1) и коэффициент детерминации, который составил 0,98–0,99, что свидетельствует об очень высокой связи содержания пластификатора ДИНФ и свойств рассматриваемых образцов.

Таблица 3

Результаты статистического анализа

Наименование показателя	Параметры модели				Коэффициент детерминации
	a_1	a_2	a_3	a_4	
Прочность при разрыве, МПа	0,0001	–0,0088	0,2699	29,788	0,99
Относительное удлинение при разрыве, %	–0,0011	0,0525	–1,3373	341,970	0,98
Термостабильность при 175°C, мин	–0,0005	0,0255	0,2628	94,797	0,98

Регрессионные модели (1) применимы как для прогноза свойств, так и для расчета оптимального содержания пластификатора в рецептуре. Для реализации задачи оптимизации использовали нелинейное программирование, основанное на численных методах определения экстремума некоей целевой функции при заданных ограничениях. В роли целевой функции может выступить любое свойство, представленное как модель (1). В качестве ограничений выбраны математические ожидания (среднее значения) каждого из рассматриваемых свойств. Постановка задачи для данного исследования была сформулирована в виде:

$$H = a_{11}x^3 + a_{12}x^2 + a_{13}x + a_{14} \rightarrow \max \text{ (прочность при разрыве, МПа)}$$

Ограничения:

$$a_{21}x^3 + a_{22}x^2 + a_{23}x + a_{24} \geq 315$$

(Относительное удлинение при разрыве, %)

$$a_{31}x^3 + a_{32}x^2 + a_{33}x + a_{34} \geq 107$$

(Термостабильность при 175°C, мин)

Решение задачи нелинейного программирования проводилось с помощью инструмента «Поиск решения». Данный инструмент является дополнительной надстройкой табличного процессора MS Excel 2010. В результате решения задачи установлено, что наиболее оптимальным содержанием ДИНФ является 25 масс.ч. Понижение содержания ДОФ в смеси приводит к снижению пластичности ПВХ, о чем можно судить по значениям относительного удлинения и прочности при разрыве исследованных образцов. При увеличении дозировки ДИНФ более 25 масс.ч наблюдается ухудшение физико-механических характеристик пластика в сравнении с композитом, содержащим ДОФ. Сравнение образцов I и VI показывает, что при частичной замене ДОФ на ДИНФ прочность возрастает с 29,9 до 32,8 МПа, а относительное удлинение при разрыве снижается с 340% до 320%, термостабильность исследуемых образцов возрастает с 95 до 111 мин. Но, тем не менее,

полная замена ДОФ на ДИНФ (образец XI) приводит к возрастанию прочности до 35,7 МПа и значительному снижению относительного удлинения при разрыве до 265%, при этом термостабильность возрастает незначительно. Таким образом, замена 50% диоктилфталата на диизононилфталат позволяет получить более экологичные пластикаты с физико-механическими и технологическими характеристиками, соответствующими требованиям нормативных стандартов.

В следующей серии тестов были изготовлены образцы пленок, модифицированные отдельно индивидуальными пластификаторами (XII – пластифицированный ДОФ; XVIII – ДИНФ; XIX – ДБОЭФ), и смесью ДОФ и ДИНФ с добавлением дибутоксиэтилфталата (XIII–XVII). С целью дальнейшего снижения содержания промышленных фталатных пластификаторов в базовой рецептуре исходной композиции исследовано влияние концентрации добавок на физико-механические и технологические

характеристики. Содержание пластификаторов в рецептуре приведено в табл. 4, результаты испытаний графически изображены на рис. 4–7.

На основе анализа полученных экспериментальных данных (табл. 4 и рис. 4–7) была исследована зависимость свойств и содержания пластификаторов ДБОЭФ и ДИНФ в виде поверхности второго порядка методами факторного анализа [30]:

$$H = b_1 + b_2x + b_3y + b_4xy + b_5x^2 + b_6y^2, \quad (2)$$

где H – физико-механическое свойство или технологический показатель; $b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6$ – параметры модели второго порядка (2), рассчитанные методом наименьших квадратов; x – содержание пластификатора ДИНФ, масс.ч.; y – содержание пластификатора ДБОЭФ, масс.ч.

Как известно, для изучения поверхностей второго порядка широко применяются линии уровня, которые наглядно показывают поведение функции

Таблица 4

Содержание пластификаторов в ПВХ-композиции

Номер образца	Содержание пластификатора, масс.ч./100 масс.ч. ПВХ				Номер образца	Содержание пластификатора, масс.ч./100 масс.ч. ПВХ			
	Общее	ДОФ	ДИНФ	ДБОЭФ		Общее	ДОФ	ДИНФ	ДБОЭФ
XII	50	50	–	–	XVI	50	25	10	15
XIII	50	25	25	–	XVII	50	25	5	20
XIV	50	25	20	5	XVIII	50	–	50	–
XV	50	25	15	10	XIX	50	–	–	50

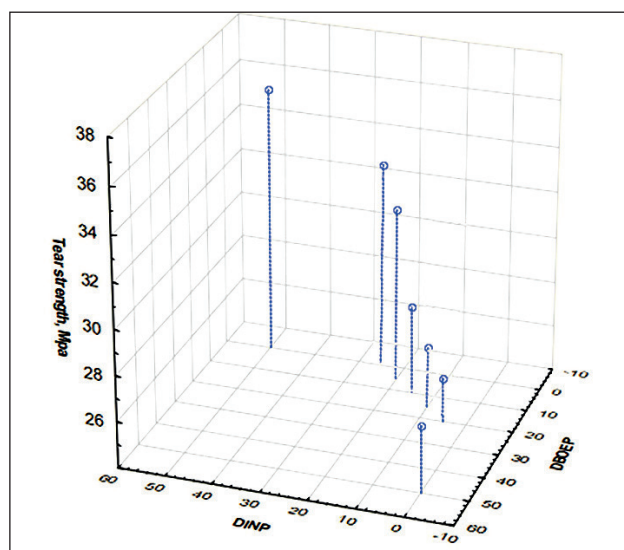


Рис. 4. Влияние концентрации пластификаторов на прочность при разрыве ПВХ-композиции

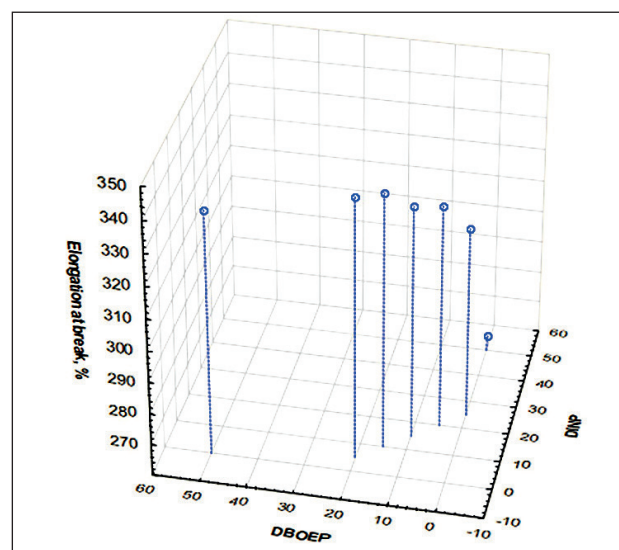


Рис. 5. Влияние концентрации пластификаторов на относительное удлинение при разрыве ПВХ-композиции

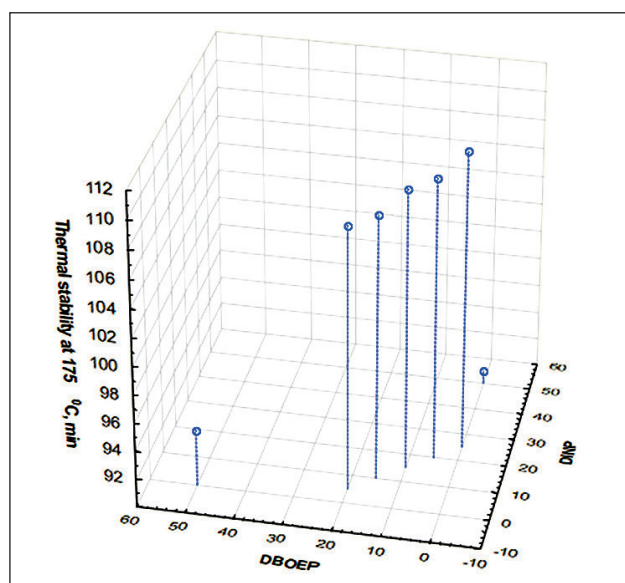


Рис. 6. Влияние концентрации пластификаторов на термостабильность ПВХ-композиции

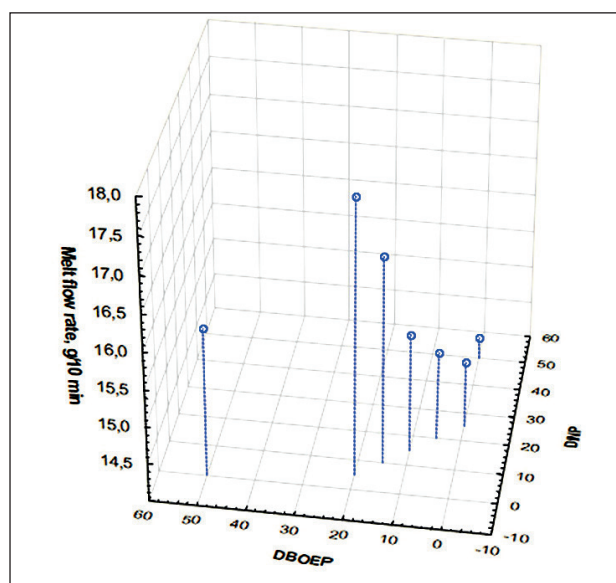


Рис. 7. Влияние концентрации пластификаторов на показатель текучести расплава ПВХ-композиции

в пространстве, тем самым давая возможность оценить ее оптимальные значения.

На рис. 8–11 представлены карты линий уровня зависимости физико-механических и технологических характеристик образцов XII–XIX.

Как видно из рис. 8–11, образец XVII проявляет наилучшие показатели прочности и относительного удлинения при разрыве, обладает значительно более высоким значением ПТР по сравнению с исходным пластикатом, образцы XIII–XVII проявляют высокие значения термостабильности. Таким образом, наиболее перспективным для дальнейших исследований является образец XVII, содержащий 25 масс.ч. диоктилфталата, 5 масс.ч. диизонилфталата и 20 масс.ч. дибутоксидилфталата на 100 масс.ч. ПВХ.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные данные показывают, что совместное использование промышленных пластификаторов ДОФ и ДИНФ, а также разработанного ДБОЭФ в рецептуре ПВХ-композиций (образцы XIII–XVII) приводит к снижению прочности при разрыве и увеличению относительного удлинения, что свидетельствует об увеличении пластичности. Вероятно, это можно объяснить синергическим влиянием исследуемых пластификаторов. С увеличением содержания в смеси пластификатора дибутоксидилфталата, характеризующимся более высокой удельной массой в сравнении с ДИНФ, происходит закономерное повышение показателя текучести рас-

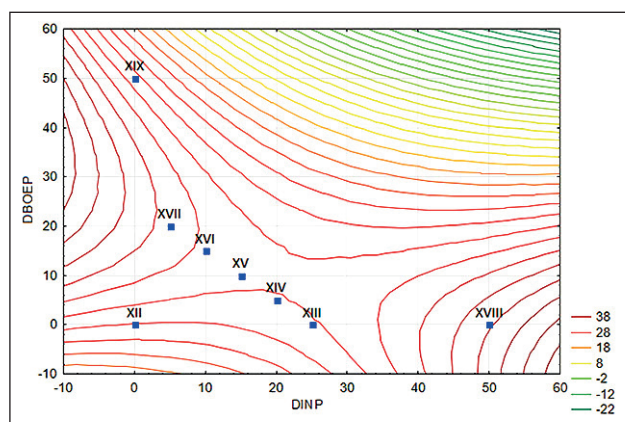


Рис. 8. Карта линий уровня зависимости прочности при разрыве от содержания ДБОЭФ и ДИНФ

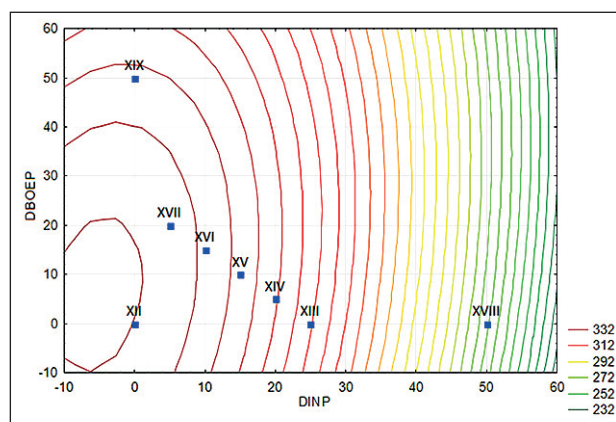


Рис. 9. Карта линий уровня зависимости относительного удлинения при разрыве от содержания ДБОЭФ и ДИНФ

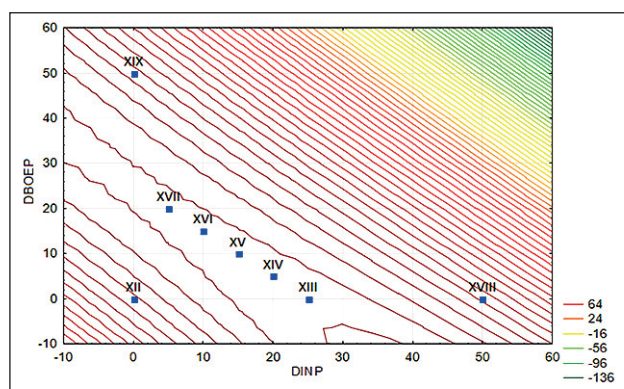


Рис. 10. Карта линий уровня зависимости термоста-
бильности от содержания ДБОЭФ и ДИНФ

плава ПВХ-пластиката (с 15,2 до 17,7 г/10 мин), что свидетельствует о повышении перерабатываемости ПВХ-композиций, изготовленных по разработанным рецептурам. Наибольший эффект достигается при дозировке: ДОФ – 25 масс.ч., ДИНФ – 5 масс.ч. и ДБОЭФ – 20 масс.ч. на 100 масс.ч. ПВХ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ:

– использование разработанной рецептуры ПВХ-пластиката на основе синергической смеси пластификаторов: диоктилфталата (25 масс.ч.), ди-

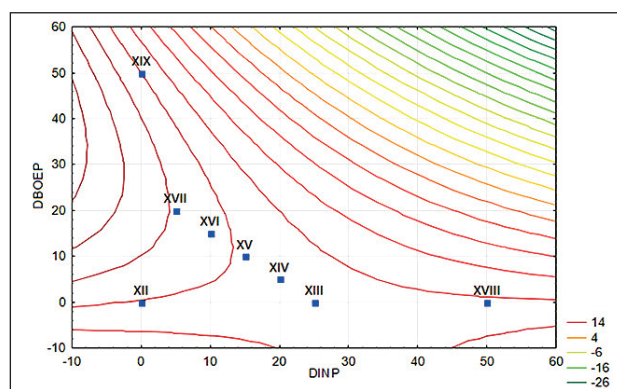


Рис. 11. Карта линий уровня зависимости показателя
текучести расплава от содержания ДБОЭФ и ДИНФ

зоноилфталата (5 масс.ч.) и дибутоксидилфталата (20 масс.ч.) – позволяет улучшить прочность и относительное удлинение при разрыве, термостабильность и показатель текучести расплава; – применение дибутоксидилфталата вместо диоктилфталата позволяет снизить экологическую нагрузку на окружающую среду.

Таким образом, предложенная рецептура ПВХ-композиции позволяет снизить токсичность используемых пластификаторов на 50% и улучшить физико-механические и технологические характеристики компаундов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Малбиев С.А., Горшков В.К., Разговоров П.Б. Полимеры в строительстве. М.: Высш. шк., 2008. 456 с.
2. Полимеры / Говарикер В.Р., Висванатхан Н.В., Шридхар Дж.; пер. с англ. М.: Наука, 1990. 396 с.
3. Огрель Л.Д. Российский рынок полимерных материалов и изделий из них: состояние и перспективы // Полимерные материалы. 2019. № 2. С.46–51.
4. Волкова А.В. Рынок крупнотоннажных полимеров-2020.pdf. ВШЭ, Центр развития, 2020 [Электронный ресурс]. – URL: <https://dcenter.hse.ru/data/2020/07/07/1595325171/Рынок%20крупнотоннажных%20полимеров-2020.pdf> (дата обращения: 22.06.2022).
5. Сперанская О.А., Понизова О.А., Гурский Я.Г., Цитцер О.Ю. Российский рынок пластика и пластиковых отходов // Полимерные материалы. 2022. № 2. С. 30–38. [Электронный ресурс]. – URL: <https://polymerbranch.com/f51238cd02c93b89d8fbee5667d077fc/cab4c0a5036fa3aba3ba0c021ca5da8c/magazineclause.pdf> (дата обращения: 22.06.2022).
6. Обзоры Рынка INVENTRA: Поливинилхлорид (ПВХ-С). Итоги года 2018 [Электронный ресурс]. – URL: <https://plastinfo.ru/information/articles/671/> (дата обращения: 22.06.2022).
7. Фаина Ю.И. Анализ российского рынка полимеров и дальнейшие пути его развития // Бизнес-образование в экономике знаний. 2017. № 1. С. 99–101.
8. Ахсянов А.Н., Гатауллина И.И., Габбасов Д.А., Закирова К.И., Хантимиров А.Г., Хузиахметова К.Р. Поливинилхлоридные строительные материалы и изделия // Полимеры в строительстве: научный интернет-журнал. 2021. № 1 (9). С. 10–66.
9. Шаравара А.М., Христофорова И.А. Современные строительные материалы на основе ПВХ // Международный академический вестник. 2019. № 10 (42). С. 107–109.
10. Руководство по разработке композиций на основе ПВХ / Под ред. Ф. Гроссмана, пер. с англ. под ред. В.В. Гузеева. СПб.: Научные основы и технологии, 2009. 608 с.
11. Уилки Ч., Саммерс Дж., Даниелс Ч. Поливинилхлорид. СПб.: Профессия, 2007. 728 с.
12. Ульянов В.М., Рыбкин Э.П., Гудкович А.Д., Пишин Г.А. Поливинилхлорид. М.: Химия, 1992. 288 с.

РАЗРАБОТКА НОВЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

13. Müller H. *Plastics Additives Handbook: Stabilizers, Processing AIDS, Plasticizers, Fillers, Reinforcements, Colorants for Thermoplastics*. Published by Hanser Gardner Publications, 1988: 970.
14. Charles A. *Handbook of Plastics, Elastomers, and Composites*. The McGraw Hill, Harper Editor-in-Chief., 2002: 884.
15. Шиллер М. Добавки к ПВХ. Состав, свойства, применение / Пер. с англ. яз. под ред. Н.Н. Тихонова. СПб.: ЦОП «Профессия», 2017. 400 с.
16. Добавки к полимерам. Справочник / Х. Цвайфель, Р.Д. Маер, М. Шиллер. Пер. с англ. 6-го изд. (Plastic Additives Handbook), под. ред. В.Б. Узденского, А.О. Григорова. Профи-Информ, 2010. 1144 с.
17. Маслова И.П. Химические добавки к полимерам. Справочник. М.: Химия, 1981. 264 с.
18. Барштейн Р.С., Кириллович В.И., Носовский Ю.Е. Пластификаторы для полимеров. М.: Химия, 1982. 196 с.
19. Козлов П.В., Попков С.П. Физико-химические основы пластификации полимеров. М.: Химия, 1982. 224 с.
20. Штаркман Б.П. Пластификация ПВХ. М.: Химия, 1975. 248 с.
21. Тиниус К. Пластификаторы. Л.: Химия, 1964. 915 с.
22. Вихарева И.Н. Синтез и исследование свойств адипинатов оксиэтилированных спиртов, перспективных пластификаторов поливинилхлорида: дис. ... канд. хим. наук. Уфа, 2021. 152 с.
23. Александров А.Ю. Разработка научных и технологических основ получения пластификатора для ПВХ-полимеров на основе триметилпропана: дис. ... канд. хим. наук. Самара, 2019. 105 с.
24. Мазитова А.К., Нафикова Р.Ф., Аминова Г.К. Пластификаторы поливинилхлорида / Наука и эпоха: монография; под общей ред. проф. О.И. Кирикова. Воронеж, 2011. С. 277–297.
25. Mitro S.D. Phthalate metabolite exposures among immigrants living in the United States: findings from NHANES, 1999–2014. *Journal of Exposure Science. Environmental Epidemiology*. 2019. Vol. 29: 71–82.
26. Шкаева И.Е., Солнцева С.А., Никулина О.С., Николаев А.И., Дулов С.А., Земляной А.В. Токсичность и опасность фталатов // Токсикологический вестник. 2019. № 6. С. 3–9.
27. Маскова А.Р., Аминова Г.К., Рольник Л.З., Файзуллина Г.Ф., Мазитова А.К. Фталаты оксиалкилированных спиртов // Нанотехнологии в строительстве. 2019. Том 11, № 1. С. 52–71. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2019-11-1-52-71>
28. Аминова Г.К., Степанова Л.Б., Маскова А.Р., Ефимова Е.В., Мазитова А.К. Симметричные и несимметричные фталаты оксиалкилированных спиртов // Башкирский химический журнал. 2011. Т. 18. № 1. С. 147–151.
29. Математическое моделирование. Теоретические основы. Материалы для практических занятий и самостоятельной работы обучающихся. Методические указания: учебно-методический комплекс / УГНТУ, каф. ПЕД; сост. Г.У. Ярмухаметова. Уфа: УГНТУ, 2018.
30. Миддлтон М.Р. Анализ статистических данных с использованием Microsoft Excel для Office XP. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2005.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Маскова Альбина Рафитовна – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры «Прикладные и естественнонаучные дисциплины», Уфимский государственный нефтяной технический университет, Республика Башкортостан, Уфа, Россия, asunasf@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8171-8027>

Ярмухаметова Гульнара Ульфатовна – канд. техн. наук, доцент кафедры «Прикладные и естественнонаучные дисциплины», Уфимский государственный нефтяной технический университет, Республика Башкортостан, Уфа, Россия, gulnara.ulfatovna@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7443-837X>

Кинзябулатова Диана Фидратовна – студент каф. «Строительные конструкции» Уфимский государственный нефтяной технический университет, Республика Башкортостан, Уфа, Россия, dinkin567890@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4442-9269>

Рольник Любовь Зелиховна – д-р хим. наук, профессор, профессор каф. «Общая, аналитическая и прикладная химия», Уфимский государственный нефтяной технический университет, Республика Башкортостан, Уфа, Россия, rolnik@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8402-1516>

ВКЛАД АВТОРОВ

Маскова А.Р. – концепция исследования; развитие методологии; участие в разработке материала; написание исходного текста; доработка текста.

Ярмухаметова Г.У. – участие в разработке материала; выявление зависимостей; анализ и обработка полученных результатов; написание исходного текста.

Кинзябулатова Д.Ф. – сбор материала.

Рольник Л.З. – научное руководство; итоговые выводы.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 29.07.2022; одобрена после рецензирования 30.08.2022; принята к публикации 09.09.2022.