

## ДИССИПАТИВНЫЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНЫХ ПЛЕНОК И КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИВИНИЛАЦЕТАТА

© Т. Б. Скуратова, С. Е. Кириллов, А. И. Сятковский\*

ОАО «Пластполимер», Санкт-Петербург

\* E-mail: nauka@plastpolymer.com

Поступила в Редакцию 6 декабря 2018 г.

После доработки 22 февраля 2019 г.

Принята к публикации 7 марта 2019 г.

*Методом динамического механического анализа исследованы промышленные термопластичные пластифицированные полимерные пленки на основе поливинилацетата различного химического состава и композитные трехслойные материалы металл–вязкоупругая полимерная пленка–металл. Получены экспериментальные зависимости значений коэффициента механических потерь и модуля упругости полимерных пленок от температуры и частоты деформации при динамическом растяжении. Определены температурные области эффективного демпфирования. Показано, что в этих областях коэффициент механических потерь каждой полимерной пленки превышает значение 0.5 для диапазона частот 1–10 000 Гц. Сопоставлены диссипативные свойства полимерных пленок и изготовленных на их основе композитных материалов. Показано, что значения коэффициента механических потерь пленочных материалов больше соответствующих значений коэффициента потерь композитных материалов, но большие модули механических потерь имеют композитные материалы. Их абсолютные значения при температуре максимального демпфирования достигают порядка  $\sim 10^{11}$  Па и более, что определяет возможность их использования в качестве эффективных вибропоглощающих покрытий.*

Ключевые слова: пластифицированные пленки; поливинилацетат; трехслойные композиты; диссипативные свойства

DOI: 10.1134/S0044461819070090

Разработка эффективных средств борьбы с вибрациями и возбуждаемым ими шумом чрезвычайно актуальна в различных отраслях промышленности (авиастроении, судостроении, машиностроении и т. д.) в связи с тенденциями к наращиванию мощностей энергетических установок при снижении общего веса конструкций [1].

Одним из самых эффективных средств снижения вибрации является использование вибродемпфирующих материалов (ВДМ), обеспечивающих усиление в конструкции процессов внутреннего трения и приводящих к необратимому преобразованию энергии вибрации в теплоту. Наиболее эффективными ВДМ являются полимерные материалы, обладающие высокими диссипативными свойствами. Введение таких полимерных материалов в состав конструкций способствует быстрому затуханию распространяющихся по ним вибрационных процессов, снижая одновре-

менно амплитуды колебаний в частотных областях резонансов.

Для количественной оценки диссипативных свойств полимерных материалов обычно используется коэффициент механических потерь  $\eta$  (или, что то же, тангенс угла механических потерь  $\operatorname{tg}\delta$ ) и модуль механических потерь ( $E''$ ). Между этими величинами существует простая взаимосвязь  $E'' = E' \cdot \eta$ , где  $E'$  — динамический модуль упругости полимера. Кроме того, важным параметром является температура ( $T_g$ ), при которой достигается максимум коэффициента механических потерь. Максимальные потери механической энергии в полимерах проявляются в области перехода из стеклообразного состояния в высокоэластическое, поэтому величина  $T_g$ , полученная при частоте 1 Гц, приблизительно соответствует температуре стеклования. В дальнейшем в тексте мы будем использовать сокращенные термины:

$\eta$  — коэффициент потерь,  $E'$  — модуль упругости,  $E''$  — модуль потерь,  $T_g$  — температура максимального демпфирования.

Следует отметить, что фактическая эффективность ВДМ определяется именно модулем потерь  $E''$ , тогда как величина коэффициента потерь  $\eta$  необходима скорее для выбора материала на предварительной стадии. При проектировании и расчетах всего комплекса виброзащиты необходимо иметь полный набор данных по температурно-частотным зависимостям всех показателей ( $\eta$ ,  $E'$ ,  $E''$ ).

В технике хорошо зарекомендовали себя многослойные вибропоглощающие листовые композитные материалы, в которых вязкоупругие полимерные слои, обладающие высокой способностью к диссипации энергии, распределены между жесткими упругими слоями металлов или жестких пластмасс [2–5]. Разработки в этой области связаны в первую очередь с выбором вязкоупругого полимерного связующего, обладающего высокими потерями. В целом о высоких демпфирующих свойствах поливинилацетата и термопластичных материалов на основе его сополимеров известно давно [6, 7], но в настоящее время чаще используются различного рода резины [3, 8, 9] или материалы со взаимопроникающими сетками [10, 11]. Причина проста. Вблизи температуры стеклования термопластичных материалов, несмотря на высокий коэффициент механических потерь, их прочностные свойства резко падают даже при незначительном повышении температуры. Поэтому для демпфирующих конструкций часто предпочитают применять полимерные материалы пусть и с меньшим коэффициентом механических потерь, но зато имеющие достаточно широкое «плато эластичности», т. е. температурный диапазон, в котором упругопрочностные свойства изменяются незначительно [12]. Однако в последнее время в технике в ответственных позициях все более широкое применение находят так называемые «настраиваемые демпферы», для которых первостепенное значение имеют именно высокие коэффициенты потерь в конкретном узком диапазоне частот, что открывает, на наш взгляд, дополнительные перспективы для термопластичных материалов на основе ПВА. К таким материалам, безусловно, можно отнести термопластичную пластифицированную пленку на основе поливинилацетата (ПВА) марки ВПС-2,5, которая в течение многих лет выпускается на ОАО «Пластполимер» и используется как вибропоглощающий слой в составе металлоконструкций и как вязкоупругий компонент в производстве листовых ВДМ «ВИПОНИТ» [13] и ВТП-2В [14, 15]. В последнее время на ОАО «Пластполимер» освоен выпуск

ассортимента термопластичных пластифицированных пленок на основе поливинилацетата под общим названием ВПС-пленки (ВПНС-4, ВПС-3, ВПНС-1 и др.). Несмотря на успешный опыт использования пленки ВПС-2,5 в отдельных конкретных позициях в судостроении и авиастроении, систематического экспериментального исследования всего комплекса упругопрочностных и диссипативных свойств даже для этой марки ВПС-пленок не проводилось.

Цель настоящего исследования — получение и систематизация данных, включающих обобщенные температурно-частотные зависимости для всего комплекса физико-механических характеристик, в том числе данные по модулю упругости и модулю потерь, для всего ассортимента выпускаемых в настоящее время пленок. Набор таких данных позволил бы обоснованно подходить к выбору пленок для наиболее эффективного вибродемпфирования конкретной металлоконструкции в заданном интервале температур и при заданном спектре негативных вибраций.

### Экспериментальная часть

В качестве объектов исследования были выбраны пленочные материалы на основе поливинилацетата: ВПНС-4, ВПС-2,5 и ВПНС-1, серийно производимые на ОАО «Пластполимер», ТУ 4515-001-00203521–93 «Пленка термопластичная пластифицированная». Пленки являются самоклеящимися, толщина исходных пленок  $0.6 \pm 0.1$  мм. Все перечисленные пленочные материалы получают путем смешения ПВА с пластификатором и другими добавками в смесителе с последующим экструдированием расплавов через шнековую машину в пленку [16]. В соответствии с указанными выше техническими условиями цифра в наименовании марки пленки соответствует содержанию в ней пластификатора. Таким образом, пленки ВПНС-4, ВПС-2,5 и ВПНС-1 содержат низкотемпературный пластификатор в количестве 40, 25 и 10% соответственно.

Трехслойные композитные материалы, содержащие внутренний полимерный слой из различных пленок ВПС и внешние металлические слои одинаковой толщины, готовили следующим образом: между двумя металлическими пластинами размером  $30 \times 7$  мм, поверхности которых предварительно обезжировали ацетоном, размещали образцы различных ВПС-пленок толщиной  $0.6 \pm 0.1$  мм. Полученные образцы композитных материалов выдерживали в прессе под давлением  $1 \text{ кг} \cdot \text{см}^{-2}$  при температуре  $+50^\circ\text{C}$  в течение 2 ч. Металлические слои для образцов композита изготавливали из стальной ленты

толщиной 0.12 мм, ГОСТ 503–81 «Лента стальная холоднокатаная из низкоуглеродистой стали», марка 08кп. Модуль упругости при изгибе металлических пластин из этой ленты, определенный при температуре 23°C на разрывной машине Orientec RTM-1T составляет  $1.7 \cdot 10^{12}$  Па.

Измерения механических показателей осуществлялось на приборе ДМА 8000 фирмы Perkin Elmer в режимах динамического растяжения и трехточечного изгиба в интервале температур  $-50 \div +80^\circ\text{C}$  при частотах 1, 10 и 100 Гц. Спектры зависимости коэффициентов потерь пленок ВПС-2,5 и ВПНС-4 от частоты в интервале 1–10 000 Гц получены во ФГУП «Крыловский государственный научный центр» на установке УИМ для измерения упругодиссипативных характеристик полимерных материалов методом динамических жесткостей.

### Обсуждение результатов

Для получения базового набора демпфирующих характеристик, относящихся непосредственно к самим полимерным пленочным материалам, первая часть исследований проводилась в условиях динамического растяжения.

На рис. 1 представлены зависимости коэффициентов потерь  $\eta$  (а) и модулей упругости  $E'$  (б) от температуры для трех различных марок пленок ВПС.

Из данных рис. 1, а следует, что все пленочные материалы типа ВПС в совокупности обладают чрезвычайно высокими коэффициентами потерь в интервале температур  $-15 \div +50^\circ\text{C}$ . В то же время высокие коэффициенты потерь для каждой пленки реализуются в относительно узком интервале температур.

Перекрываемый одним материалом из этого типа ряда температурный диапазон эффективной работы ( $\eta \geq 0.5$ ) составляет  $\sim 30^\circ$ . Максимальные значения  $\eta$  ( $\eta_{\max}$ ) достигаются при температуре максимального демпфирования  $T_g$ , индивидуальной для каждой модификации ВПС. Представленные на рис. 1, б зависимости модулей упругости  $E'$  от температуры показывают типичные для вязкоупругих полимерных материалов зависимости с характерно выраженными зонами стеклообразного состояния, переходной зоной и областью высокоэластичных деформаций. Обращает на себя внимание, что абсолютные значения модулей упругости в области высокоэластичных деформаций малы и составляют около  $10^6$  Па. При температурах близких к максимальным температурам демпфирования, коэффициент потерь имеет достаточно высокие абсолютные значения в очень широком частотном диапазоне — от 10–10 000 Гц (рис. 2, табл. 1).

При повышении температуры испытаний значение максимума коэффициента потерь сдвигается в область высоких частот с шагом примерно одна треть октавы на градус.

Величина коэффициента потерь полимерных пленок при динамическом растяжении  $\eta$ , так же как температура максимального демпфирования  $T_g$ , является функцией частоты деформации растяжения. В табл. 1 приведены экспериментальные данные по основным характеристикам пленок ВПНС-4 и ВПС-2,5 в зависимости от частоты деформации растяжения.

Как и следовало ожидать в соответствии с принципом температурно-временной суперпозиции [12], с увеличением частоты деформации температура максимального демпфирования  $T_g$  для обеих поли-

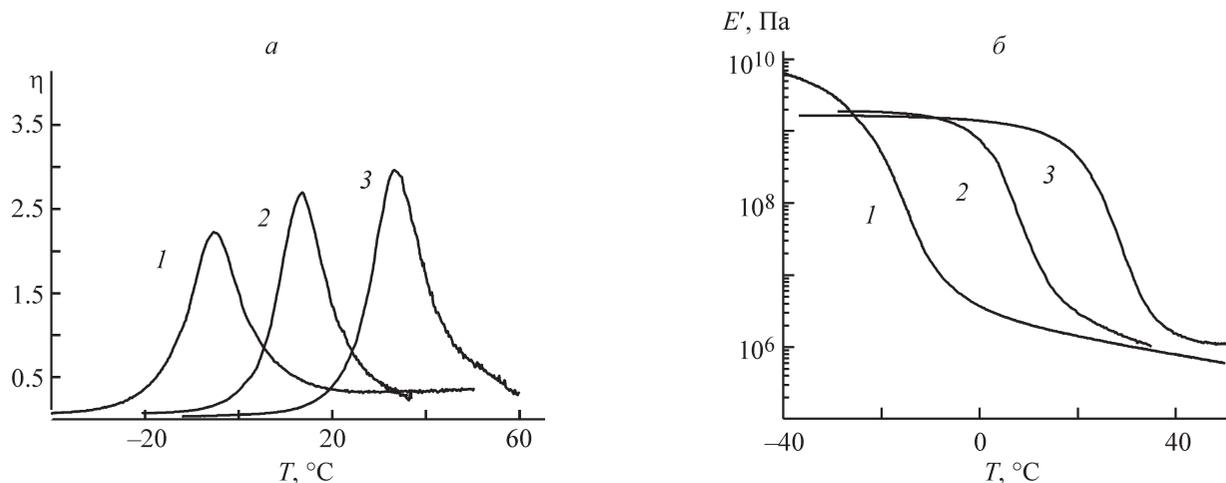


Рис. 1. Зависимость коэффициента потерь (а) и модуля упругости (б) от температуры при динамическом растяжении с частотой 1 Гц для полимерных пленок ВПНС-4 (1), ВПС-2,5 (2) и ВПНС-1 (3).

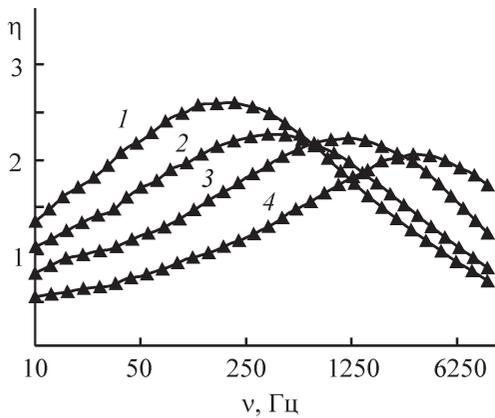


Рис. 2. Зависимость коэффициента потерь от частоты сдвиговой деформации для пленки ВПС-2,5 при температуре 20°C (1) и для пленки ВПНС-4 при температурах 5 (2), 10 (3), 20 (4) (частота приведена в логарифмической шкале).

мерных пленок повышается. Значения  $T_g$  для полимерной пленки ВПНС-4 для всех трех частот ниже, чем соответствующие значения для пленки ВПС-2,5, которая в свою очередь имеет более низкие значения  $T_g$ , чем пленка ВПНС-1. Таким образом, увеличение в пленочных материалах содержания низкотемпературного пластификатора от 10 до 40% приводит к смещению  $T_g$  на частоте 1 Гц на  $\sim 38^\circ\text{C}$  в сторону низких температур, что находится в полном соответствии с представлениями о влиянии пластификаторов на температуру стеклования аморфных полимеров типа ПВА [17]. Поэтому в изделиях и конструкциях с низкой температурой эксплуатации рекомендуется использовать пленку ВПНС-4. Для изделий, работающих при более высоких температурах, предпочтение следует отдавать пленкам ВПС-2,5 и ВПНС-1. Однако такая рекомендация, как будет показано ниже, не является универсальной. В реальных задачах всегда не-

обходимо учитывать конкретные особенности демпфируемой конструкции. Средние значения модулей упругости и модулей потерь в точке максимального демпфирования составляют  $\sim 10^7$  Па, что характерно для «мягких» вибропоглощающих высокопластичных полимеров.

В технике для вибродемпфирования конструкций, в которых преобладающим типом деформаций являются деформации растяжение–сжатие, используют, как правило, «жесткие» вибропоглощающие покрытия с модулем упругости демпфирующих материалов  $\sim 10^8$ – $10^9$  Па [2]. Применение же «мягких» вибродемпфирующих материалов (к которым относятся пленки ВПС) связано с их способностью диссипировать энергию при изгибных колебаниях в составе слоистых конструкций. В этом случае потери в вязкоупругом слое осуществляются за счет его сдвиговых деформаций. Подобные трехслойные структуры достаточно подробно анализировались расчетными методами [2], тогда как экспериментальные данные по таким структурам, включающим поливинилацетатные пленки, отсутствуют.

Методом трехточечного изгиба испытывались трехслойные пластинки, состоящие из двух внешних слоев металла, соединенных слоем из пленок ВПНС-4, ВПС-2,5 и ВПНС-1. Аналогично описанным выше индивидуальным полимерным пленкам для трехслойных композитных материалов исследовали температурные зависимости коэффициента потерь  $\eta_{(к)}$ , модуля упругости  $E'_{(к)}$  и модуля потерь  $E''_{(к)}$  и определялись температуры максимального демпфирования  $T_{g(к)}$ . Поскольку за диссипацию энергии в трехслойных композитах металл–полимер–металл отвечает именно вязкоупругий полимерный слой, предположили наличие корреляции между его демпфирующими характеристиками и демпфирующими характеристиками всего трехслойного композита на

Таблица 1

Влияние частоты деформации растяжения на диссипативные свойства полимерных пленок на основе ПВА

Показатель	ВПНС-4			ВПС-2,5			ВПНС-1 1 Гц
	1 Гц	10 Гц	100 Гц	1 Гц	10 Гц	100 Гц	
$\eta_{\max}$	2.2	2.4	2.5	2.3	2.6	2.7	2.9
$T_g, ^\circ\text{C}$	-5.4	1.3	7.7	16	21	29	33
$E' \cdot 10^{-7}, \text{Па}$	$\sim 4.3$	$\sim 3.3$	$\sim 3.4$	$\sim 1.6$	$\sim 0.3$	$\sim 1.1$	$\sim 0.5$
$E'' \cdot 10^{-7}, \text{Па}$	$\sim 9.6$	$\sim 8.1$	$\sim 8.6$	$\sim 3.7$	$\sim 0.8$	$\sim 2.9$	$\sim 1.5$

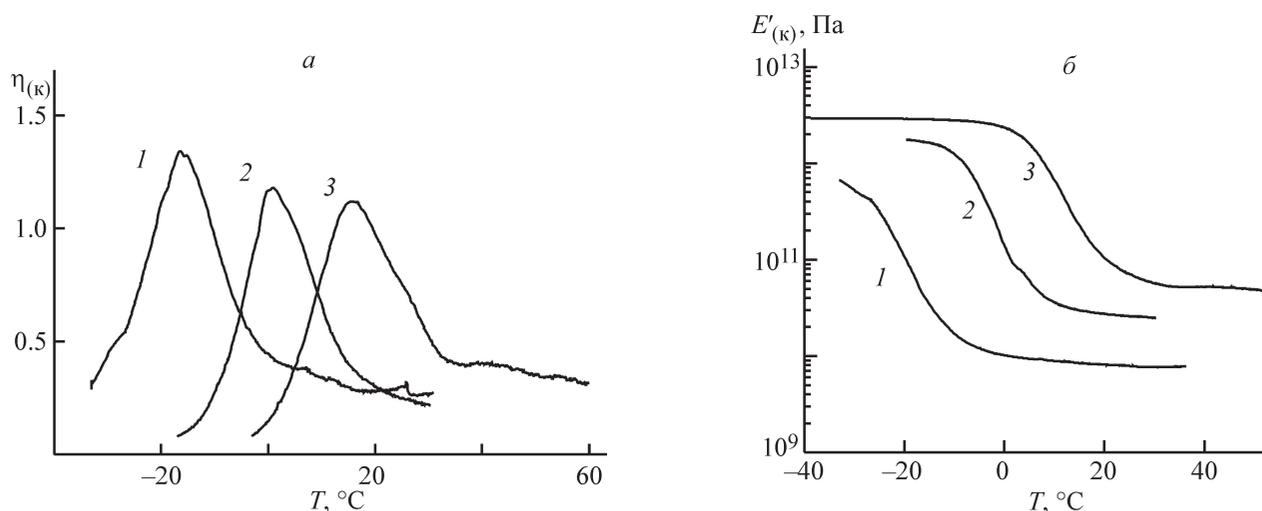


Рис. 3. Зависимость коэффициента потерь (а) и модуля упругости от температуры при динамической нагрузке методом трехточечного изгиба с частотой 1 Гц для композитных слоистых материалов с полимерными пленками ВПНС-4 (1), ВПС-2,5 (2) и ВПНС-1 (3).

его основе. На рис. 3, а, б приведены зависимости коэффициента потерь и модуля динамической упругости трехслойных пластинок, содержащих различные ВПС-пленки, от температуры.

Обращаясь к рис. 3, видим, что трехслойные композиты, как и пленки, имеют достаточно большие значения коэффициента потерь в относительно узком интервале температур, причем температура максимального демпфирования зависит от вида пленки, использовавшейся во внутреннем слое. Для композитов с ВПС-пленками сохраняется их относительная эффективность демпфирования в зависимости от температуры, установленная ранее для самих ВПС-пленок. Композиты с пленкой ВПНС-4 эффективны при более низких температурах, с пленкой ВПНС-1 — при более высоких. Композиты, включающие пленку ВПС-2,5, занимают в этом ряду промежуточное место. Коэффициенты потерь в композитных материалах ниже, чем непосредственно в полимерных пленках, а модули упругости выше. Этот результат находится в соответствии с результатами расчетов трехслойных структур, содержащих одинаковые по геометрии внешние жесткие упругие слои и внутренний вязкоупругий слой. При условии, что упругость внешних слоев намного превосходит упругость внутреннего слоя (в нашем случае контрольные измерения в условиях трехточечного изгиба модулей упругости образцов, не содержащих внутреннего полимерного слоя, дают величину  $\sim 3 \cdot 10^{12}$  Па), коэффициент потерь в трехслойной структуре всегда меньше коэффициента потерь материала внутреннего слоя [2]. Из приведенных на рис. 3, б экспери-

ментальных данных видно, что величина  $\sim 3 \cdot 10^{12}$  Па является в своем роде предельным значением модуля упругости в исследованных трехслойных материалах, который реализуется в трехслойных композитах, содержащих пленку из полимеров в стеклообразном состоянии. Как и в случае динамической деформации растяжения, при деформации трехточечного изгиба коэффициент потерь и температура максимального демпфирования являются функцией частоты динамической деформации (табл. 2).

С увеличением частоты деформации температура максимального демпфирования композитов  $T_{g(\kappa)}$  сдвигается в сторону высоких температур, как и в случае индивидуальных пленок (табл. 1, 2). В исследованном диапазоне частот существует корреляция между величинами  $T_g$ , определенными для разных ВПС-пленок (табл. 1), и величинами  $T_{g(\kappa)}$ , определенными для композитных материалов на базе этих пленок (табл. 2). Максимумы коэффициентов потерь композитных материалов сдвинуты на 9–12° в область низких температур по сравнению с максимумами коэффициентов потерь соответствующих полимерных пленок. Возможность такого температурного сдвига при работе с многослойными конструкциями следует учитывать, выбирая подходящую термопластичную пленку. Так, например, из данных рис. 3 и табл. 2 следует, что классическая пленка ВПС-2,5 не является оптимальной в многослойных конструкциях для вибродемпфирования при комнатной температуре в области низких частот. В то же время обращает на себя внимание значительное увеличение значений модуля упругости и, что особенно важно, модуля по-

Таблица 2

Влияние частоты деформации трехточечного изгиба на диссипативные свойства трехслойных пластинок металл–полимер–металл, где полимер — пленки ВПНС-4, ВПС-2,5 или ВПНС-1

Показатель	ВПНС-4			ВПС-2,5			ВПНС-1 1 Гц
	1 Гц	10 Гц	100 Гц	1 Гц	10 Гц	100 Гц	
$\eta_{\max(k)}$	1.3	1.16	1.19	1.1	1.15	1.16	1.1
$T_{g(k)}, ^\circ\text{C}$	-16.4	-10.2	-0.8	3.1	9.3	16.8	15.7
$E'_{(k)} \cdot 10^{-11}, \text{Па}$	~0.45	~0.61	~0.53	~1.1	~1.2	~1.3	~2.0
$E''_{(k)} \cdot 10^{-11}, \text{Па}$	~0.54	~0.71	~0.63	~1.3	~1.4	~1.5	~2.2

терь композитных материалов по сравнению с пленками. Значения модуля потерь в точке максимального демпфирования для композитных слоистых материалов на основе ВПС-пленок достигают  $\sim 10^{10}$ – $10^{11}$  Па (табл. 2). Столь высокие значения модуля потерь делают подобные слоистые композитные материалы перспективными вибропоглощающими покрытиями, эффективно работающими при относительно небольшой толщине [18, 19].

Следует отметить, что если для индивидуальных ВПС-пленок набор данных по обобщенным температурно-частотным характеристикам всего ассортимента достаточно определен, то для трехслойных композитов металл–полимер–металл полученные сведения необходимо дополнить, в частности, экспериментальными данными по влиянию толщины вибропоглощающего и металлического армирующего слоев и соотношения толщин всех трех слоев на температурно-частотные зависимости физико-механических характеристик трехслойных композитов.

### Выводы

1. Термопластичные пластифицированные пленки на основе поливинилацетата исследовали методом динамического механического анализа в режиме динамического растяжения. Определены температурные зависимости коэффициентов потерь, модулей упругости и потерь для трех промышленно выпускаемых полимерных пленок ВПНС-4, ВПС-2,5 и ВПНС-1. Даны рекомендации по выбору рабочих интервалов температур для эффективного демпфирования в сборных металлоконструкциях с превалирующей вибрацией по типу растяжение–сжатие.

2. В широком диапазоне 10–10 000 Гц изучена зависимость коэффициента потерь от частоты сдвиговой деформации. Показано, что в интервале тем-

ператур, близких к температуре максимального демпфирования, пленки ВПНС-4 и ВПС-2,5 достаточно эффективно работают во всем диапазоне частот, но экстремально высокие коэффициенты потерь для каждой марки наблюдаются в относительно узком частотном диапазоне. Полученные данные являются экспериментальной базой при выборе материала для создания «настраиваемых» демпферов, высокоэффективных в узком диапазоне частот.

3. Методом динамического механического анализа в режиме трехточечного изгиба испытывались трехслойные композитные материалы металл–полимерная пленка–металл, где в качестве внутреннего слоя использовались пленки ВПНС-4, ВПС-2,5 и ВПНС-1. Определена начальная база данных основных диссипативных характеристик указанных композитных материалов в зависимости от температуры и от частоты циклических деформаций. Даны рекомендации по выбору материалов для эффективного демпфирования в конструкциях с превалирующими вибрациями по типу изгибных колебаний.

4. Показано, что трехслойные композитные материалы металл–вязкоупругая полимерная пленка–металл хотя и имеют более низкие значения коэффициентов потерь, чем полимерные пленки, но существенно превосходят их по модулю упругости. В результате этого модуль потерь композитного материала достигает значений  $10^{11}$  Па. Это позволяет прогнозировать возможность их использования в качестве эффективных тонких демпфирующих покрытий.

### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

### Информация об авторах

Скуратова Татьяна Борисовна, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9041-4762>

Кириллов Сергей Евгеньевич, к.т.н., ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5569-2505>

Сятковский Александр Иорданович, к.х.н., ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4866-6819>

### Список литературы

- [1] Иванов Н. И. Защита от шума и вибрации. НИЦ АРТ, 2017. 268 с.
- [2] Ионов А. В. Средства снижения вибрации и шума на судах. СПб: ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова, 2000. 368 с.
- [3] Mohan D. Rao // J. Sound Vibration. 2003. V. 262. P. 457–474.
- [4] Нукифоров А. С. Вибропоглощение на судах. Л.: Судостроение, 1979. 213 с.
- [5] Nakka B. C. // J. Sound Vibration. 1998. V. 211 (3). P. 449–465.
- [6] Pat.US 3994845 (publ.1976). Vibration damping sheet material.
- [7] Sperling L. H. // Sound and Vibration Damping with Polymers. ACS Symp. Ser. Am. Chem. Soc. Washihgton, DC, 1990. P. 5–22.
- [8] Capps R. N., Beumel L. L. // Sound and Vibration Damping with Polymers: ACS Symp. Ser. Am. Chem. Soc. Washihgton, DC, 1990. P. 63–78.
- [9] Wu C., Wei C., Guo W., Wu C. // J. Appl. Polym. Sci. 2008. V. 109. P. 2065–2070.
- [10] Sorathia U., Yeager W., Dapp T. // Sound and Vibration Damping with Polymers: ACS Symp. Ser. Am. Chem. Soc. Washihgton, DC, 1990. P. 382–396.
- [11] Fox R. B., Fay J. J., Sorathia U., Sperling R. H. // Sound and Vibration Damping with Polymers. ACS Symp. Ser. Am. Chem. Soc. Washihgton, DC, 1990. P. 359–365.
- [12] Нильсен Л. Механические свойства полимеров и полимерных композиций / Пер. с англ. П. Г. Бабаевского. М.: Химия, 1978. 310 с. [Laurence E. Nilsen. Mechanical Properties of Polymers and Composites. Marcel Dekker, Inc., New York, 1974].
- [13] Пат. РФ 2159185 (опубл. 2000). Конструкционный слоистый изолирующий материал.
- [14] Пат. РФ 2285023 (опубл. 2006). Полимерная вибропоглощающая композиция и слоистый вибропоглощающий материал на ее основе.
- [15] Сытый Ю. В., Сагамонова В. А., Кислякова В. И., Большаков В. А. // Авиац. материалы и технологии. 2012. № 2. С. 51–54.
- [16] Розенберг М. Э. Полимеры на основе винилацетата. Л.: Химия, 1983. 176 с.
- [17] Тиниус К. Пластификаторы / Пер. с нем. под ред. Е. Б.Тростянской. М.: Химия, 1964. 916 с. [Thinius K. Chemie, Physik und Technologie der Weichmacher. 2-te verbesserte und erweiterte Auflage. Leipzig. 1963].
- [18] Hujare Pravin P., Sahasrabudhe Anil D. // Appl. Mechanics Mater. 2014. V. 592–594. P. 2031–2035.
- [19] Kerwin Edward M. Jr., Ungar Eric E. // Sound and Vibration Damping with Polymers: ACS Symp. Ser. Am. Chem. Soc. Washihgton, DC, 1990. P. 317–345.