

УДК 628.517.2:699.844

Е.Н. Каблов<sup>1</sup>, Е.М. Шульдешов<sup>1</sup>, А.П. Петрова<sup>1</sup>,  
М.А. Лаптева<sup>1</sup>, А.Е. Сорокин<sup>1</sup>

### ЗАВИСИМОСТЬ КОМПЛЕКСА СВОЙСТВ ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩЕГО МАТЕРИАЛА ТИПА ВЗМК ОТ КОНЦЕНТРАЦИИ ГИДРОФОБИЗИРУЮЩЕГО СОСТАВА НА ОСНОВЕ КРЕМНИЙОРГАНИЧЕСКОГО ГЕРМЕТИКА

DOI: 10.18577/2071-9140-2020-0-2-41-49

*Статья посвящена проблеме снижения уровня шума воздушных судов на местности. В качестве решения предложен вариант применения в составе звукопоглощающих конструкций сотового заполнителя с пористой вставкой. Представлены результаты исследования физических и акустических свойств указанных материалов, а также результаты исследований микроструктуры и воздухопроницаемости пористой вставки в зависимости от концентрации гидрофобизирующего состава. Сделан вывод о влиянии концентрации на комплекс свойств звукопоглощающих материалов. Высказано предположение о возможности варьирования акустических свойств при изменении скорости полимеризации гидрофобизирующего состава.*

**Ключевые слова:** звукопоглощающий материал-конструкция, гидрофобизирующий состав, коэффициент звукопоглощения, пористость, микроструктура, воздухопроницаемость.

E.N. Kablov<sup>1</sup>, E.M. Shuldeshov<sup>1</sup>, A.P. Petrova<sup>1</sup>,  
M.A. Lapteva<sup>1</sup>, A.E. Sorokin<sup>1</sup>

### DEPENDENCE OF COMPLEX OF SOUND-PROOF VZMK TYPE MATERIAL PROPERTIES ON CONCENTRATION OF HYDROPHOBIZING COMPOSITION ON THE BASIS OF ORGANOSILICON SEALANT

*The article is devoted to the issue of decrease in noise level of air vehicles on the ground. The application option as a part of sound-proof designs of cellular filler with porous insert is offered as a decision of this issue. The article gives the results of the research of physical and acoustic properties of these materials and microstructure and air permeability of porous insert depending on concentration of hydrophobizing composition. The conclusion is drawn about the influence of concentration on all listed properties. There is made an assumption about possibility of varying of acoustic properties when the polymerization rate of the hydrophobizing composition changes.*

**Keywords:** sound-proof material design, hydrophobizing composition, sound absorption coefficient, porosity, microstructure, air permeability.

<sup>1</sup>Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Государственный научный центр Российской Федерации [Federal State Unitary Enterprise «All-Russian Scientific Research Institute of Aviation Materials» State Research Center of the Russian Federation]; e-mail: admin@viam.ru

#### Введение

Развитие большинства наукоемких отраслей гражданского сектора экономики неразрывно связано с развитием материаловедения [1–4]. В таких отраслях, как авиастроение, для разработки конкурентоспособной продукции применяют большое количество современных материалов конструкционного [5] и функционального [6] назначения, что требует проведения исследований их долговечности и механизмов разрушения [7, 8], а также способов защиты от воздействий негативных внешних факторов [9]. Например, требу-

ется поиск решения ставшей в настоящее время крайне актуальной проблемы снижения уровня шума воздушных судов на местности [10, 11], что необходимо для получения доступа на международные рынки [12].

Одним из основных источников шума современных воздушных судов является вентилятор двигательной установки [13]. Наиболее эффективный способ снижения шума вентилятора – применение звукопоглощающих конструкций (ЗПК), однако значительное повышение их акустической эффективности (по сравнению с применяемыми в настоящее

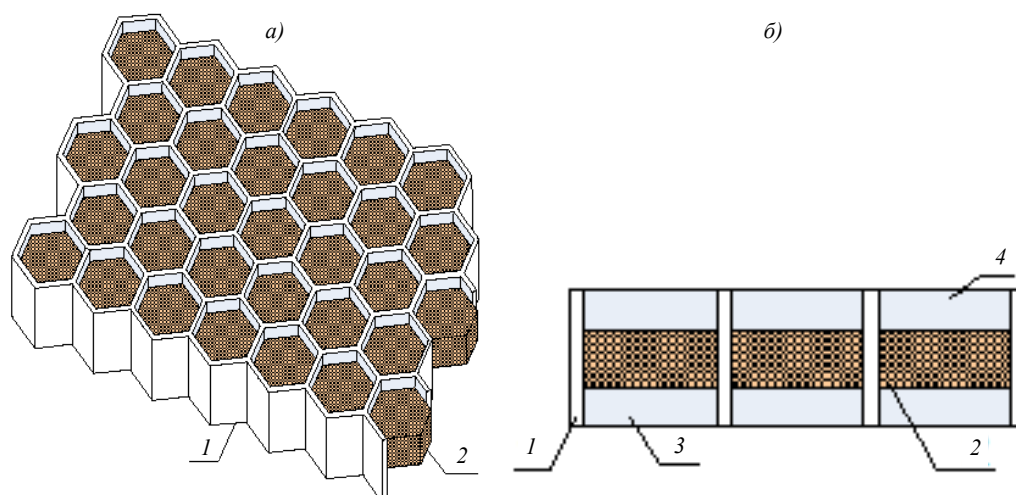


Рис. 1. Изотермическая проекция (а) и вид сбоку (б) структуры звукопоглощающего материала-конструкции:

1 – сотовый наполнитель; 2 – пористая вставка; 3, 4 – воздушные полости

время конструкциями) невозможно без разработки новых материалов и учета различных факторов решения указанной проблемы [14].

В связи с этим во ФГУП «ВИАМ» разработан звукопоглощающий материал-конструкция (ЗМК) марки ВЗМК-1 [15], который позволяет проводить настройку акустических свойств ЗПК без изменения ее габаритных размеров и прочностных характеристик – итоговой толщины конструкции, толщины слоев, параметров перфорации фронтального слоя. Изменение акустических характеристик достигается за счет варьирования параметров пористой вставки, применяемой в материале, и ее расположения.

Данная статья посвящена описанию механизма изменения комплекса свойств материалов типа ВЗМК при пропитке гидрофобизирующим составом различных концентраций.

Работа выполнена в рамках реализации комплексной научной проблемы 15.3. «Материалы и покрытия для защиты от ЭМИ, ударных, вибрационных, акустических и электрических воздействий» («Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года») [2].

### Материалы и методы

Звукопоглощающий материал-конструкция марки ВЗМК-1 представляет собой сотовый наполнитель с расположенной внутри пористой вставкой, состоящей из открытопористого пенопласта, пропитанного гидрофобизирующим составом на основе кремнийорганического герметика. Гидрофобизирующий состав подбирается таким образом, чтобы обеспечить достаточную адгезию для закрепления пористой вставки внутри ячейки сотового наполнителя.

Структура ЗМК представлена на рис. 1. Вариативность акустических свойств ЗМК достигается за счет изменения толщины и расположения звукопоглощающего наполнителя, а также концентрации пропитки.

Для определения акустических характеристик ЗМК использовали двухмикрофонный метод, который соответствует ISO 10534-2 «Acoustics – Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes – Transfer-function method» («Акустика. Определение коэффициента звукопоглощения и импеданса в импедансных трубах. Часть 2. Метод передаточной функции») и стандарту ASTM E1050-08.

Коэффициент звукопоглощения ( $\alpha$ ) определяли на установке измерения импеданса – тип 9737 фирмы Bruel & Kjaer (Дания), доукомплектованной держателем образца в виде трубы с внутренним диаметром 29 мм, при уровне шума – 150 дБ в диапазоне частот от 500 до 6400 Гц с последующим третьоктавным усреднением. Исследовали образцы ЗМК толщиной 3 см с применением перфорированного листа толщиной 0,4 мм, с процентом перфорации 10% и диаметром отверстий 2,0 мм. Исследования проводили на трех образцах каждой конфигурации ЗМК (далее в статье приведены средние значения).

Показатели воздухопроницаемости определяли с помощью установки FX 3300 III фирмы Textest. Прибор работает автоматически с цифровой индикацией результатов измерения. Вакуумный насос всасывает воздух через сменные испытательные головки, в которых расположен исследуемый образец материала. Выбранное испытательное давление поддерживается автоматически, а воздухопроницаемость образца отображается на

экране устройства в заданных оператором единицах измерения. В данном случае использовали единицу измерения  $\text{см}^3/(\text{см}^2 \cdot \text{с}^{-1})$ .

Для оценки микроструктуры применяли метод оптической микроскопии на металлографическом комплексе фирмы Leica при увеличении  $\times(50-100)$ . Съемку изображений вели с помощью цифровой камеры VEC-335 ( $3 \text{ Мпк}/\text{см}^2$ ). Подготовку изображений к количественному анализу и их математическую обработку выполняли с использованием компьютерной программы Image Expert Pro 3x.

Количественный анализ пористости проводили, анализируя четыре поля зрения для каждого образца – не менее 50 пор. Закрашивание пор осуществляли в полуавтоматическом режиме.

Сорбционную влажность определяли в соответствии с порядком измерений, приведенным в ГОСТ 24816–2014 «Материалы строительные. Метод определения равновесной сорбционной влажности». Испытание проводили в течение 72 ч.

Водопоглощение определяли в соответствии с порядком измерений, приведенным в ГОСТ 4650–2014 (ISO 62:2008) «Пластмассы. Методы определения водопоглощения». Испытание проводили в течение 24 ч.

Плотность определяли в соответствии с порядком измерений, приведенным в ГОСТ 15139–69 «Пластмассы. Метод определения объемной плотности (объемной массы)», с последующим математическим переводом объемной плотности в поверхностную для лучшего восприятия представленных данных.

Вязкость определяли в соответствии с порядком измерений, приведенным в ГОСТ 25276–82 «Полимеры. Метод определения вязкости ротационным вискозиметром при определенной скорости сдвига».

### Результаты и обсуждение

Проведено исследование образцов, изготовленных с применением гидрофобизирующих составов с концентрациями полимера 10, 20, 30 и 40% (по массе). На рис. 2 представлены результаты сравнения зависимости значений  $\alpha$  от частоты для образцов с углублением 10 мм от фронтальной грани и толщиной пористой вставки 3, 5 и 7 мм.

Из представленных на рис. 2, а графиков видно, что при использовании гидрофобизирующих составов с концентрациями полимера 10 и 20% (по массе) образцы ЗМК имеют значения  $\alpha$  меньше практически во всем частотном диапазоне, по сравнению с концентрациями 30 и 40% (по массе). В диапазоне частот от 500 до 1600 Гц значения  $\alpha$  возрастают с увеличением концентрации гидрофобизирующего состава. В диапазоне частот от 1600 до 6400 Гц при концентрации гидрофобизирующего состава 30% (по массе) ЗМК имеет наиболее высокие значения  $\alpha$ . В данном случае концентрация полимера в гидрофобизирующем составе 40% (по массе) обеспечивает получение ЗМК с наибольшим диапазоном (от 900 до 6400 Гц) эффективного поглощения ( $\alpha \geq 0,8$ ), превосходя показатели образца с концентрацией 30% (по массе) в диапазоне частот от 1600 до 6400 Гц.

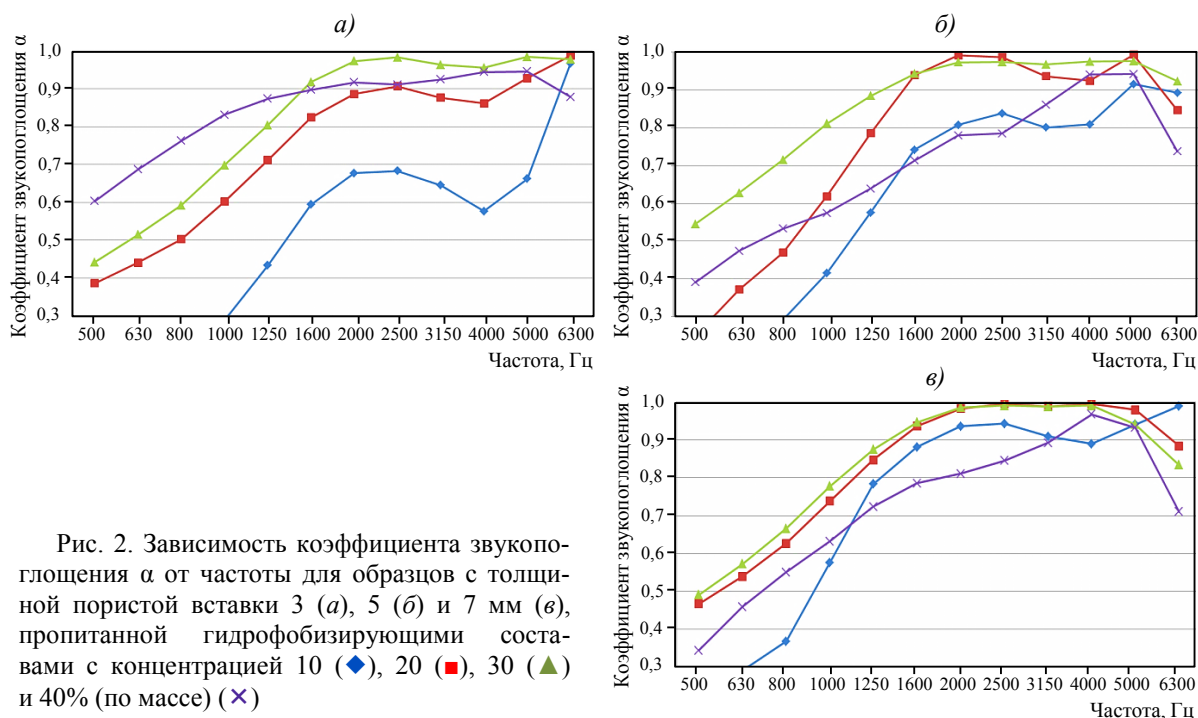


Рис. 2. Зависимость коэффициента звукопоглощения  $\alpha$  от частоты для образцов с толщиной пористой вставки 3 (а), 5 (б) и 7 мм (в), пропитанной гидрофобизирующими составами с концентрацией 10 (♦), 20 (■), 30 (▲) и 40% (по массе) (×)

Таблица 1

Вязкость гидрофобизирующих составов различных концентраций

Концентрация полимера, % (по массе)	Скорость вращения шпинделя, об/мин	Вязкость, сПа
10	200	23,3
20	200	46,6
30	200	94,4
40	100	181,2

Применение гидрофобизирующего состава с концентрациями полимера 10 и 40% (по массе) обеспечивает получение ЗМК с меньшими показателями  $\alpha$  практически во всем частотном диапазоне, по сравнению образцами, пропитанными составами с концентрациями полимера 20 и 30% (по массе).

Наилучшими характеристиками обладает ЗМК, для гидрофобизации которого использован состав с концентрацией полимера 30% (по массе), превосходя по уровню значений  $\alpha$  остальные варианты и обладая наибольшим частотным диапазоном эффективного поглощения звука (от 1000 до 6400 Гц).

Из графиков, представленных на рис. 2, в, видно, что аналогично ситуации с толщиной пористой вставки 5 мм использование гидрофобизирующего состава с концентрациями полимера 10 и 40% (по массе) приводит к худшим показателям  $\alpha$ . При этом значения  $\alpha$  для образцов ЗМК, полученных с применением гидрофобизирующих составов с концентрациями полимера 20 и 30% (по массе), крайне близки.

На основе представленных результатов можно сделать вывод о том, что использование гидрофобизирующего состава с концентрацией полимера 40% (по массе) может быть целесообразным только для пористой вставки толщиной 3 мм. Для вставок с толщиной 5 или 7 мм целесообразно применять гидрофобизирующий состав с концентрацией полимера 30% (по массе).

Эффект, наблюдаемый на рис. 2, по-видимому, можно объяснить тем, что при повышении концентрации полимера увеличивается вязкость гидрофобизирующего состава, что приводит к закупорке пор малого диаметра и сквозных пор, а также к утолщению межпоровых перегородок при введении гидрофобизатора.

Проведено исследование вязкости гидрофобизирующих составов различных концентраций, полученные данные представлены в табл. 1.

Из полученных данных следует, что увеличение концентрации гидрофобизирующего состава на 10% (по массе) приводит к удвоению его вязкости. На основании полученных результатов (табл. 1 и рис. 2) можно сделать вывод, что для получения высоких значений

параметра  $\alpha$  для образцов ЗМК с толщиной пористой вставки не менее 5 мм необходимо использовать гидрофобизирующие составы, имеющие вязкость от 50 до 100 сПа.

Для определения характера изменений свойств ЗМК при введении гидрофобизатора проведено исследование микроструктуры образцов пористой вставки, извлеченных из ЗМК, пропитанных гидрофобизирующими составами с концентрациями полимера 30 и 40% (по массе). Для оценки изменений структуры пористой вставки при ее пропитке гидрофобизирующим составом исследован образец без гидрофобизатора. На рис. 3 представлены микроструктура и процентное распределение среднего диаметра пор на поверхности пористой вставки без пропитки гидрофобизирующим составом.

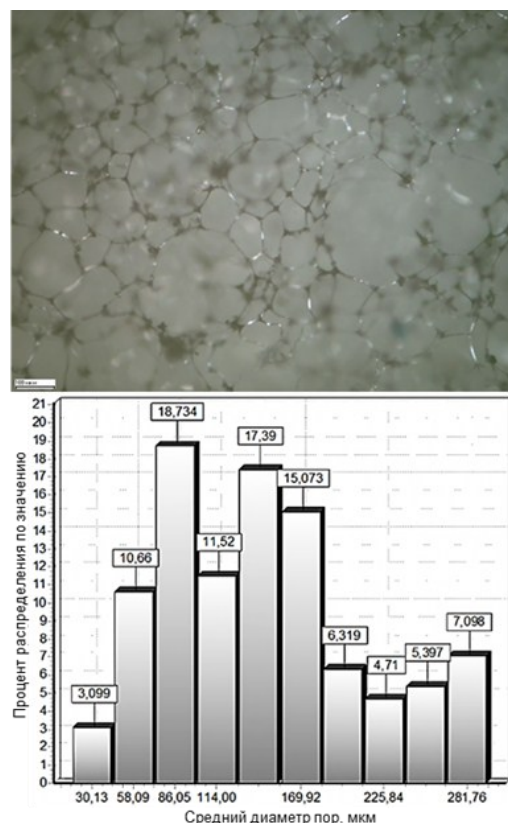


Рис. 3. Микроструктура и процентное распределение среднего диаметра пор в образце материала пористой вставки без пропитки гидрофобизирующим составом

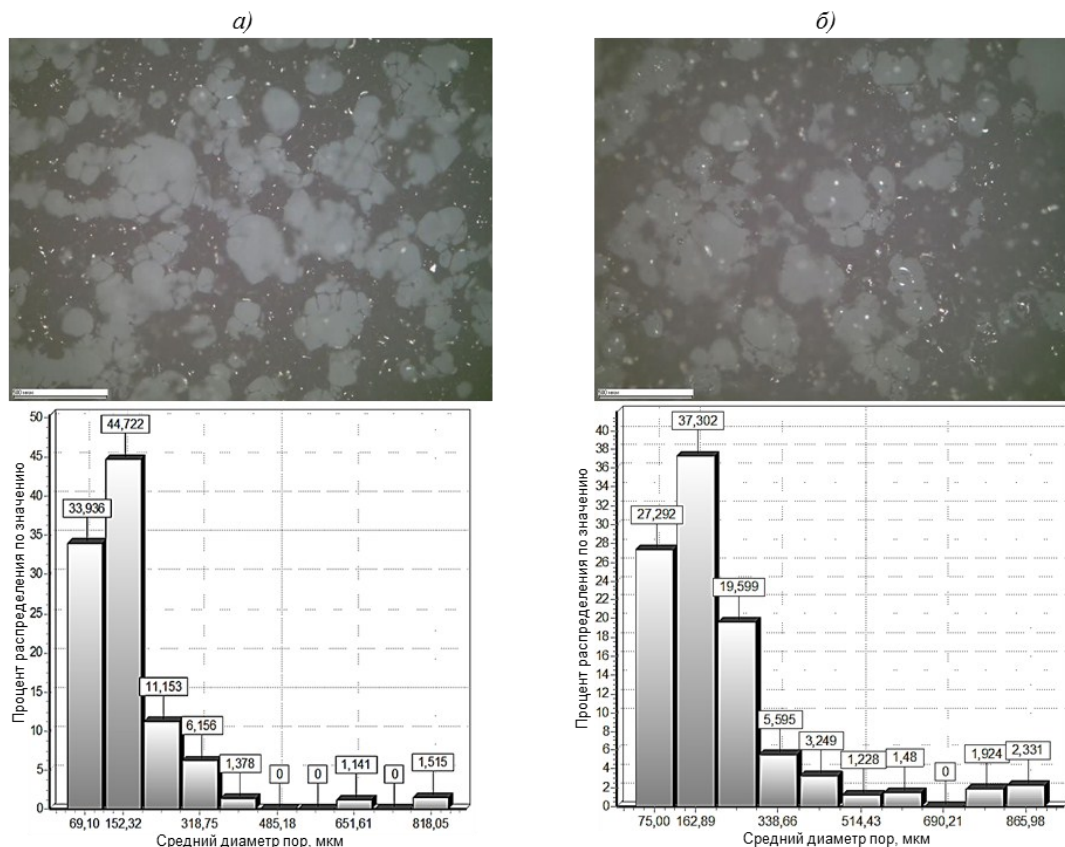


Рис. 4. Микроструктура и процентное распределение среднего диаметра пор образца пористой вставки толщиной 7 мм, пропитанной гидрофобизирующим составом с концентрацией полимера 30% (по массе) со стороны 1 (а) и 2 (б)

Как видно из представленных на рис. 3 данных, образец обладает высокопористой структурой с диаметром пор в диапазоне от 50 до 300 мкм. Известно, что для эффективного поглощения акустических волн диаметр пор должен находиться в диапазоне от 50 до 400 мкм [16]. При этом для поглощения в широком диапазоне частот необходимо равномерное распределение диаметра пор в указанном диапазоне. Отсутствие на рис. 2 образцов без пропитки связано с технологическими трудностями закрепления пористой вставки внутри ячеек сотового заполнителя при изготовлении.

Проведены исследования образцов пористой вставки, пропитанной гидрофобизирующим составом с концентрацией полимера 30% (по массе), с двух сторон материала для оценки возможного изменения структуры за счет неравномерности пропитки. Микроструктура материалов и процентное распределение среднего диаметра пор представлены на рис. 4.

Анализ данных рис. 4 показывает, что пропитка материала пористой вставки гидрофобизирующим составом с концентрацией полимера 30% (по массе) приводит к сниже-

нию количества пор в структуре материала. Средний диаметр пор при этом несколько меняется: поры с малым диаметром в диапазоне от 30 до 50 мкм, присутствовавшие в исходном материале, в пропитанном образце отсутствуют. Основная часть пор находится в диапазоне от 70 до 350 мкм, однако распределение пор меняется – преобладают поры, средний диаметр которых находится в диапазоне от 70 до 200 мкм. При этом на стороне 1 присутствует небольшое количество пор (их доля составляет ~2,5% от общего числа), выходящих за пределы диапазона, необходимого для эффективного поглощения звука. Средний диаметр таких пор находится в диапазоне от 400 до 900 мкм. Видно, что, кроме типичных для процесса гидрофобизации явлений «закупорки» пор малого размера и уменьшения размера более крупных пор (за счет слоя гидрофобизатора на стенках межпоровых перегородок), происходит дополнительное увеличение диаметра пор. Это, вероятно, вызвано «усадкой» гидрофобизирующего состава при полимеризации, что приводит к изменению пористости вставки.

Следует отметить, что характеристики пористости вставки, полученные для двух

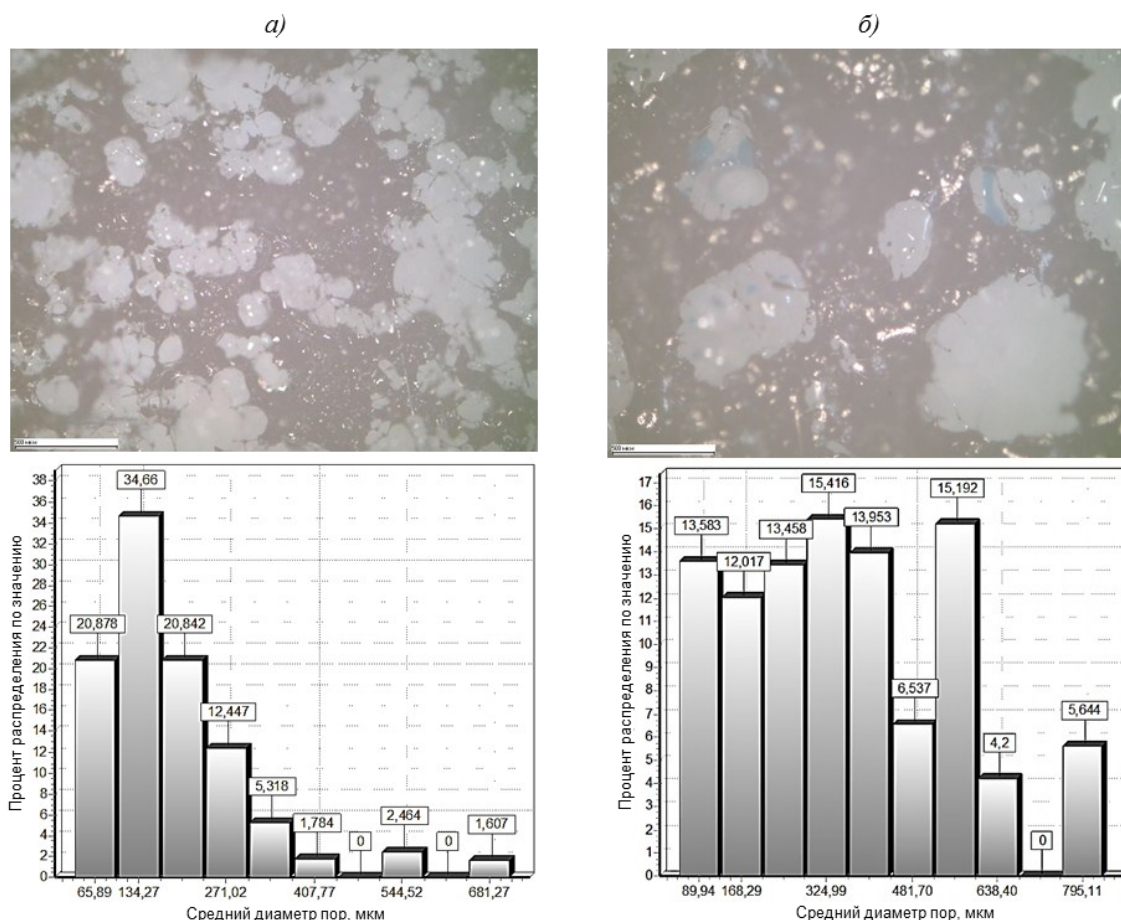


Рис. 5. Микроструктура и процентное распределение среднего диаметра пор образца пористой вставки толщиной 7 мм, пропитанной гидрофобизирующим составом с концентрацией полимера 40% (по массе) со стороны 1 (а) и 2 (б)

исследованных сторон, отличаются не существенно. Так, на стороне 2 поры со средним диаметром в диапазоне от 400 до 900 мкм представлены в большем количестве (на ~4%), чем на стороне 1. На основании этого можно сделать вывод, что предложенная технология пропитки позволяет получать равномерный по толщине материал, облегчая процесс производства ЗПК с применением ЗМК. Это свидетельствует о достижении оптимизации указанного процесса.

Исследованы образцы материала, пропитанного гидрофобизирующим составом с концентрацией полимера 40% (по массе). Их микроструктура и средний диаметр пор представлены на рис. 5. Видно, что пористость материала уменьшается по сравнению с образцами, пропитанными гидрофобизирующим составом с концентрацией 30% (по массе). Диаметр пор для стороны 1 остается в необходимом для звукопоглощающих материалов диапазоне, указанном ранее, с небольшим количеством (~6%) пор, размеры которых превышают оптимальные значения.

В микроструктуре материала со стороны 2 значительно возрастает количество пор, размеры которых превышают показатель 400 мкм (их доля составляет ~30%), что в совокупности с увеличенным количеством «закупоренных» пор приводит к снижению акустических характеристик.

Выявленную неоднородность структуры образца можно объяснить следующими факторами:

- при пропитке составами высокой концентрации диффузия затруднена вследствие высокой вязкости состава;
- в процессе полимеризации наблюдается стекание гидрофобизирующего состава, что приводит к его скоплению в нижней части пористой вставки.

Таким образом, увеличение толщины вставки приводит к снижению акустических характеристик для образцов с толщиной пористых вставок 5 и 7 мм.

Проведено исследование зависимости воздухопроницаемости ЗМК от концентрации гидрофобизирующего состава и толщины пористой вставки. Исследованы образцы пористой вставки с толщиной 3, 5 и 7 мм при

Таблица 2

**Показатели воздухопроницаемости образцов из звукопоглощающего материала-конструкции при использовании гидрофобизирующего состава различных концентраций**

Толщина пористой вставки, мм	Воздухопроницаемость, $\text{см}^3/(\text{см}^2 \cdot \text{с}^{-1})$ , при перепаде давления, Па		
	200	1100	2200
Материал пористой вставки без пропитки			
3	283,0	987,0	–
5	211,0	756,0	–
7	166,0	600,0	970,0
Концентрация полимера в гидрофобизирующем составе 10% (по массе)			
3	143,7	460,7	708,0
5	106,0	349,0	533,0
7	107,7	353,3	529,7
Концентрация полимера в гидрофобизирующем составе 20% (по массе)			
3	109,0	325,0	484,7
5	82,9	251,3	372,7
7	68,7	209,3	322,0
Концентрация полимера в гидрофобизирующем составе 30% (по массе)			
3	53,5	161,0	237,0
5	43,3	124,0	187,3
7	39,4	115,7	170,7
Концентрация полимера в гидрофобизирующем составе 40% (по массе)			
3	24,6	70,1	104,0
5	20,1	55,7	85,2
7	18,4	53,0	81,3

использовании гидрофобизирующего состава с концентрациями каучука 10, 20, 30 и 40% (по массе). Исследования проводили при перепадах давления, равных 200, 1100 и 2200 Па. Результаты исследований представлены в табл. 2 (прочерками отмечены значения, которые не соответствуют диапазону применяемого исследовательского оборудования).

Из представленных в табл. 2 данных видно, что применение гидрофобизирующего состава снижает воздухопроницаемость образцов. Поскольку воздухопроницаемость зависит от сквозной пористости и диаметра пор, то чем меньше диаметр пор, тем ниже воздухопроницаемость. Это обусловлено большим трением воздуха о материал. В зависимости от концентрации гидрофобизирующего состава снижение воздухопроницаемости варьируется от 2 до 10 раз относительно исходного материала. За некоторым исключением можно отметить следующие закономерности: увеличение концентрации гидрофобизирующего состава на 10% (по массе) уменьшает воздухопроницаемость в ~2 раза; увеличение толщины пористой вставки с 3 до 7 мм приводит к уменьшению воздухопроницаемости на ~40%.

Таким образом, по результатам данных, представленных в табл. 2, можно сделать вывод о том, что при пропитке материала гидрофобизирующим составом различных концентраций сквозная пористость снижается, что приводит к уменьшению показателя воздухопроницаемости. Установлено, что для получения высоких акустических характеристик ЗМК воздухопроницаемость пористой вставки после пропитки гидрофобизирующим составом должна находиться на следующих уровнях:

Перепад давления, Па	Воздухопроницаемость, $\text{см}^3/(\text{см}^2 \cdot \text{с}^{-1})$
200	40–50
1100	110–130
2200	170–190

Важным фактором при выборе параметров пористой вставки, помимо акустических характеристик, являются физические свойства ЗМК. В связи с этим представляет интерес исследование изменения наиболее важных свойств ЗМК (поверхностная плотность, сорбционная влажность и водопоглощение) в зависимости от толщины пористой вставки

Таблица 3

**Поверхностная плотность образцов из звукопоглощающего материала-конструкции**

Толщина пористой вставки, мм	Поверхностная плотность, г/м <sup>2</sup> , при концентрации полимера, % (по массе)			
	10	20	30	40
3	2590	3241	3445	4029
5	2737	3124	3584	4221
7	2990	3397	3753	4477

Таблица 4

**Сорбционная влажность образцов из звукопоглощающего материала-конструкции**

Толщина пористой вставки, мм	Сорбционная влажность, %, при концентрации полимера, % (по массе)			
	10	20	30	40
3	0,91	0,72	0,52	0,37
5	1,11	0,99	0,86	0,77
7	1,17	1,06	0,92	0,81

и концентрации гидрофобизирующего состава. Полученные данные представлены в табл. 3–5.

Анализ результатов, представленных в табл. 3–5, показал, что увеличение толщины пористой вставки и концентрации полимера в гидрофобизирующем составе приводит к повышению весовых характеристик ЗМК при одновременном уменьшении сорбционной влажности и водопоглощения. Так, для толщины пористой вставки 5 мм увеличение концентрации полимера в гидрофобизирующем составе с 10 до 40% (по массе) приводит к увеличению поверхностной плотности ЗМК на 1500 г/м<sup>2</sup> (54%). При этом сорбционная влажность уменьшается в 1,5 раза, а водопоглощение – практически в 4 раза.

За счет применения гидрофобизирующего состава, а также выбранной конфигурации ЗМК значения сорбционной влажности и водопоглощения находятся на низком уровне по сравнению с открытоячеистыми пористыми материалами, показатели сорбционной влажности которых могут превышать 10–15%, а показатели водопоглощения доходить до нескольких тысяч процентов. При этом полученные результаты по весовым характеристикам превосходят либо не уступают весовым показателям внутренних слоев двух- и трехслойных резонансных ЗПК.

**Заключения**

Проведено комплексное исследование звукопоглощающих материалов типа ВЗМК, пропитанных гидрофобизирующими составами различных концентраций.

Установлено, что выбор концентрации гидрофобизирующего состава с целью получения высоких акустических характеристик зависит от толщины пористой вставки, что, по-видимому, обусловлено процессами миграции состава при пропитке и полимеризации.

Экспериментально установлено, что для получения оптимальных характеристик звукопоглощения ЗМК гидрофобизирующий состав должен иметь вязкость от 50 до 100 сПа в зависимости от толщины образца.

Исследование микроструктуры поверхности пористой вставки ЗМК показало, что при гидрофобизации происходит увеличение диаметра пор, что обусловлено «усадкой» гидрофобизирующего состава, которое объясняет повышение акустических характеристик в области низких частот.

Оценена зависимость воздухопроницаемости ЗМК от концентрации гидрофобизирующего состава и толщины пористой вставки. Установлено, что для получения высоких акустических характеристик ЗМК воздухопроницаемость пористой вставки после

Таблица 5

**Водопоглощение образцов из звукопоглощающего материала-конструкции**

Толщина пористой вставки, мм	Водопоглощение, %, при концентрации полимера, % (по массе)			
	10	20	30	40
3	34,46	21,46	13,34	7,45
5	40,41	26,34	17,86	11,60
7	49,89	33,54	28,31	16,38



пропитки гидрофобизирующим составом должна находиться в диапазоне: для перепада давления 200 Па – от 40 до 50 см<sup>3</sup>/(см<sup>2</sup>·с<sup>-1</sup>), для перепада давления 1100 Па – от 110 до 130 см<sup>3</sup>/(см<sup>2</sup>·с<sup>-1</sup>), для перепада давления 2200 Па – от 170 до 190 см<sup>3</sup>/(см<sup>2</sup>·с<sup>-1</sup>).

Увеличение концентрации гидрофобизирующего состава с 10 до 40 % (по массе) для толщины пористой вставки 5 мм приводит к увеличению массы ЗМК на 54%

при уменьшении сорбционной влажности в 1,5 раза и водопоглощения – в 4 раза.

Выявленные в работе закономерности будут использованы при разработке новых марок ЗМК.

#### Благодарности

Авторский коллектив выражает благодарность А.М. Чайкуну и И.Д. Краеву за ценные советы и помощь при написании статьи.

#### Библиографический список

1. Каблов Е.Н. Современные материалы – основа инновационной модернизации России // *Металлы Евразии*. 2012. №3. С. 10–15.
2. Каблов Е.Н. Инновационные разработки ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ по реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» // *Авиационные материалы и технологии*. 2015. №1 (34). С. 3–33. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-1-3-33.
3. Каблов Е.Н., Щетанов Б.В., Ивахненко Ю.А., Балинова Ю.А. Перспективные армирующие высокотемпературные волокна для металлических и керамических композиционных материалов // *Труды ВИАМ: электрон. науч.-техн. журн.* 2013. №2. Ст. 05. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 07.10.2019).
4. Каблов Е.Н., Петрова А.П. История авиационного материаловедения: ВИАМ – 75 лет поиска, творчества, открытий. М.: Наука, 2007. 343 с.
5. Железина Г.Ф., Шульдешова П.М. Конструкционные органопластики на основе пленочных клеев // *Клеи. Герметики. Технологии*. 2014. №2. С. 9–14.
6. Шульдешова П.М., Железина Г.Ф. Арамидный слоисто-тканый материал для защиты от баллистических и ударных воздействий // *Труды ВИАМ: электрон. науч.-техн. журн.* 2014. №9. Ст. 06. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 07.10.2019). DOI: 10.18577/2307-6046-2014-0-9-6-6.
7. Шульдешова П.М., Деев И.С., Железина Г.Ф. Особенности разрушения арамидных волокон СМВ и конструкционных органопластиков на их основе // *Труды ВИАМ: электрон. науч.-техн. журн.* 2016. №2 (38). Ст. 11. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 07.10.2019). DOI: 10.18577/2307-6046-2016-0-2-11-11.
8. Шульдешова П.М., Железина Г.Ф. Влияние атмосферных условий и запыленности среды на свойства конструкционных органопластиков // *Авиационные материалы и технологии*. 2014. №1. С. 64–68. DOI: 10.18577/2071-9140-2014-0-1-64-68.
9. Кучеровский А.И., Шульдешова П.М., Железина Г.Ф., Гуляев И.Н. Разработка системы защиты сетчатой конструкции фюзеляжа от негативных воздействий внешних факторов // *Все материалы. Энциклопедический справочник*. 2016. №9. С. 29–35.
10. Халецкий Ю.Д., Копьев В.Ф. Решения 9-го совещания комитета ИКАО по защите окружающей среды по проблеме авиационного шума // *Тез. докл. Третьей открытой Всерос. конф. по аэроакустике*. М., 2013. С. 233–234.
11. Копьев В.Ф. Проблемы авиационной акустики, критичные при создании перспективных ВС с улучшенными экологическими характеристиками // *Тез. докл. Третьей открытой Всерос. конф. по аэроакустике*. М., 2013. С. 5–8.
12. Величко С.А., Остриков Н.Н., Копьев В.Ф. Опыт представления самолета Ту-204 в международную базу данных ANP ICAO // *Тез. докл. Третьей открытой Всерос. конф. по аэроакустике*. М., 2013. С. 235–237.
13. Кузнецов В.М. Проблемы снижения шума пассажирских самолетов (обзор) // *Акустический журнал*. 2003. Т. 49. №3. С. 293–317.
14. Копьев В.Ф., Остриков Н.Н., Яковец М.А., Ипатов М.С. Проблемы создания эффективных ЗПК для перспективных ТРДД с высокой степенью двухконтурности // *Сб. тр. II Всерос. науч.-техн. конф. «Функциональные материалы для снижения авиационного шума в салоне и на местности»*. 2017. URL: <https://conf.viam.ru/conf/234/proceedings> (дата обращения: 21.10.2019).
15. Шульдешов Е.М., Краев И.Д., Петрова А.П. Полимерный звукопоглощающий материал-конструкция для снижения шума на местности авиационных двигателей // *Труды ВИАМ: электрон. науч.-техн. журн.* 2018. №2 (62). Ст. 06. (дата обращения: 21.10.2019). DOI: 10.18577/2307-6046-2018-0-2-6-6.
16. Румянцев Б.М., Жуков А.Д. Эксперимент и моделирование при создании новых изоляционных и отделочных материалов. М.: Изд-во МИСИ–МГСУ, 2013. 156 с.