

УДК: 678.067.5

DOI: 10.52531/1682-1696-2022-22-4-129-133

Научная статья

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БАЗАЛЬТОПЛАСТИКА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩИХ ПАНЕЛЕЙ ДЛЯ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ И СТРОИТЕЛЬСТВА

**В.И. Резниченко**МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ)

Материалы и изделия на основе базальтовых волокон обладают высокими конструкционными, теплозвукоизоляционными, диэлектрическими и другими свойствами, позволяющими широко использовать их в различных отраслях промышленности: космической, авиа-, судо-, автомобилестроении, химической, нефтеперерабатывающей и газовой, радиоэлектронной и электротехнической, сельском хозяйстве и железнодорожном транспорте, металлургии и строительстве автомобильных и железных дорог, в коммунальном хозяйстве мегаполисов и малых городов. Эти материалы успешно конкурируют с металлом, угле- и стеклопластиком, керамикой и другими материалами большой химии.

Ведущие ученые различных стран по праву считают базальтовые волокна основой материаловедения XXI века и прочат им самое большое будущее в дальнейшем развитии мирового технического прогресса. В ряде развитых стран это научно-техническое направление включено в категорию приоритетных. Предлагается технология изготовления и применения базальтопластика ряда конструкций типа арматуры, дорожных сеток, балок и панелей для железнодорожных платформ, перекрытий и навесов, а также новой ячеистой панели сотовой конструкции из базальтопластика, обладающей повышенными прочностными, тепло- и звукоизоляционными свойствами.

**Ключевые слова:** шум, двигатели, базальтопластик, сотовые панели, технология, базальтовое волокно, звукопоглощающие конструкции

## ВВЕДЕНИЕ

Материалы и изделия на основе базальтовых волокон обладают высокими конструкционными, теплозвукоизоляционными, диэлектрическими и другими свойствами, позволяющими широко использовать их в различных отраслях промышленности: космической, авиа-, судо-, автомобилестроении, химической,

*Original article*

## THE USE OF BASALT-PLASTIC FOR THE MANUFACTURE OF SOUND INSULATION PANELS BUILDING RAILWAY AND BUILDING

**V.I. REZNICHENKO**MOSCOW AVIATION INSTITUTE  
(NATIONAL RESEARCH UNIVERSITY)

Materials and products based on basalt fibers have high structural, heat and sound insulating, dielectric and other properties that allow them to be widely used in various industries: space, aircraft, shipbuilding, automotive, chemical, oil refining and gas, radioelectronic and electrical engineering, rural economy and transport, metallurgy and construction, municipal services of megalopolises and small towns. ETP materials successfully compete with metal, carbon and fiberglass, ceramics and other materials of the big chemistry.

Leading scientists from different countries rightfully consider basalt fibers to be the basis of materials for the 21st century and predict the greatest future for them in the further development of industrial technological progress. In a number of developed countries, this scientific and technical area is included in the priority category. The technology of manufacturing a new honeycomb panel (made of basalt-plastic) with increased heat and sound isolation properties is proposed.

**KEY WORDS:** noise, engines, basalt-plastic, honeycomb panels, technology, basalt fiber, sound-absorbing constructions

нефтеперерабатывающей и газовой, радиоэлектронной и электротехнической, сельском хозяйстве и железнодорожном транспорте, металлургии и строительстве автомобильных и железных дорог, в коммунальном хозяйстве мегаполисов и малых городов. Эти материалы успешно конкурируют с металлом, угле- и стеклопластиком, керамикой и другими материалами большой химии.

Ведущие ученые различных стран по праву считают базальтовые волокна основой материаловедения

ния XXI века и прочат им самое большое будущее в дальнейшем развитии мирового технического прогресса. В ряде развитых стран это научно-техническое направление включено в категорию приоритетных. Предлагается технология изготовления и применения базальтопластика ряда конструкций типа арматуры, дорожных сеток, балок и панелей для железнодорожных платформ, перекрытий и навесов, а также новой ячеистой панели сотовой конструкции из базальтопластика, обладающей повышенными прочностными, тепло- и звукоизоляционными свойствами.

#### СОДЕРЖАНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ И РЕЗУЛЬТАТЫ

Базальтовое волокно используется:

- для производства энергоэффективных теплозвукоизоляционных экологически чистых материалов и изделий для производства звукопоглощающих материалов и изделий;
- для криогенной техники;
- для гидропоники;
- как наполнитель объемно армированных базальтовых композиционных материалов и изделий с различными связующими;
- широко применяется в судо-, авиа-, автомобилестроении, строительстве, акустике, а также для повышения огнестойкости и пожарной безопасности объектов.

Комплексная базальтовая нить (или иначе – ровинг) – это пучок параллельно уложенных элементарных волокон, скрепленных замасливателем.

Ровинг является исходным материалом для:

- намотки тел вращения (труб диаметром от 5 до 2000 мм при внутреннем давлении от 0 до 400 атм. для транспорта нефти и газа, горячей и холодной воды, химически агрессивных жидкостей, сыпучих тел, кабельной канализации; баллонов низкого и высокого давления);
- производства арматуры, стержней, профилей (уголок, тавр и т. д.) методом пултрузии для строительства дорог, домов, портовых сооружений, особенно для сейсмоопасных зон;
- ровингового долгоживущего препрега для производства деталей машин, корпусов сложной формы методами пропитки под давлением и прессования;
- рубленого волокна для трехмерного армирования бетонов;
- асфальтовых покрытий, при строительстве дорог, взлетно-посадочных полос (ВПП) аэродромов; для получения объемно- армированных базальтопластиков различного назначения;
- производства сеток с различными размерами ячеек для двухмерного армирования рабочих и несущих покрытий дорог, ВПП, закрепления осыпей и оползней и других строительных технологий;
- производства широкой номенклатуры крученых базальтовых нитей как исходного материала для

ткачества;

- производства тканей различного назначения: конструкционных, фильтровальных, огнезащитных, электротехнических, кровельных и др.;
- производства термохимических и радиационных тканевых препрегов для получения базальтокомполитов и широкой номенклатуры изделий на их основе для машиностроения, авиации, судостроения, транспорта, строительства и др.;
- ремонта строительных конструкций (стен зданий и сооружений, тоннелей, мостов, трубопроводов, несущих колонн и др.).

Базальтовое дискретное волокно (БСТВ) работоспособно в широком диапазоне температур (от  $-260$  до  $+700^{\circ}\text{C}$ ), вибростойко, сохраняет свою первоначальную форму при эксплуатации, химически инертно, негорюче и вообще повышает огнестойкость объекта, где оно применено. По комплексу свойств превосходит аналогичные материалы из стекловаты, минеральной ваты, шлаковаты и природных теплоизоляционных материалов. При эксплуатации в течение 100 лет сохраняет свои свойства и не выделяет вредных для людей и природы химических соединений.

Как исходный материал применяется для производства тканей различного назначения (для фильтров, огнезащитной одежды, противопожарных ковриков и т. п.), рукавов (армирование труб, защита кабелей и т. д.). Если ковер из базальтового дискретного волокна (БСТВ) порезать вдоль, получив при этом в сечении квадрат, затем оплести его сеткой из базальтового ровинга или нити, получают новый вид жаростойкого материала – базальтовые теплоизоляционные шнуры, надежные и удобные при использовании. Они предназначены для теплозвукоизоляции стыков панелей при панельном домостроении, изоляции криволинейных и сложных по конфигурации теплотрубопроводов. Кроме того, они широко применяются в судо- авиа-, машиностроении и многих других отраслях промышленности.

Широкомасштабному применению полимерных композиционных материалов (ПКМ) в железнодорожном транспорте способствуют основные преимущества композитов по сравнению со сталью, алюминием и другими металлами, которые лежат в сфере экономии и безопасности [2].

На железных дорогах все большее значение придают уменьшению массы, повышению стойкости при ударе, сокращению расходов в расчете на весь срок службы. Для изготовления конструкции из металла требуется дорогостоящее сырье, и трудоемкие технологические операции, такие как сварка, клепка, пайка, зачистка после сварки и нанесение ЛКП. ПКМ позволяют устранить эти неудобства. Кроме того, отсутствие коррозии увеличивает срок службы композитных конструкций.

Технологичность, возможность получения изделий сложной аэродинамической формы, особенно в

связи с возрастанием скоростей на ж/д транспорте, способствует широкому внедрению ПКМ и снижению затрат на производство новых изделий.

Еще важнее то, что внедрение ПКМ позволяет снизить массу подвижного состава до 50%, что в свою очередь приводит к снижению потребления энергии в эксплуатации – фактор, в свете проводимой политики защиты окружающей среды, имеющий особое значение. С точки зрения безопасности в последнее время все большее внимание уделяют контролируемому поглощению энергии соударения при столкновениях. Наибольшее распространение получили ПКМ при строительстве скоростных поездов. Из ПКМ изготавливают корпуса вагонов, аэродинамические обтекаемые носовые части поездов, кабины управления, внутреннюю отделку пассажирских помещений и др. Применяются композиты и в конструкции грузовых вагонов – это вагон-хоппер (саморазгрузка) с композитной крышей, стеклопластиковые цистерны для агрессивных жидкостей, изготовленные намоткой, вагон-термос с панелями из композитов.

В последнее время производство базальтовых волокон стало интенсивно развиваться, что дает надежду на их более широкое использование.

Учитывая, что базальтовое волокно хорошо совместимо с углеродным, открываются широкие перспективы создания гибридных материалов. Модуль упругости базальтового волокна составляет около 11000 кгс/мм<sup>2</sup>, а углеродного – 22000–56000 кгс/мм<sup>2</sup>. Если в базальтовое волокно добавить расчетное количество углеродного, то модуль упругости и ряд других свойств полученного гибрида будут существенно превышать уровень свойств базальта, но ввиду малого количества углеродного волокна на стоимости гибрида все это отразится вполне допустимо [1, 3].

Таким образом, конструируя новые композиционные материалы и изделия, существует возможность управлять не только уровнем свойств, но и стоимостью товара, делая его конкурентоспособным и по ценовым показателям.

На качество сотовых конструкций, на весовую и прочностную эффективность зоны соединения обшивок и заполнителя определяющее влияние имеет технологический процесс изготовления сотовых конструкций.

На сегодняшний день при изготовлении сотовых панелей отдают предпочтение традиционной технологии (рис. 1) [4].

В качестве звукопоглощающего материала обычно применяется пробка, стеклянное волокно, минеральные плиты, различные пенопласты.

Под традиционной технологией понимается технология, при которой все элементы, например, обшивки сотовой панели поставляются на сборку в отвержденном виде, а окончательная операция – сборка-склейка обшивок с сотовым наполнителем, обычно выполня-

ется под вакуумом в термощкафу или в автоклаве.

Базальтовые волокна по всем основным характеристикам заметно превосходят волокна из традиционного алюмоборосиликатного стекла, приближаясь по своим показателям к более дорогим высокомодульным волокнам из магнийсиликатного стекла (табл. 1).

Базальтопластики – полимерные композиционные материалы, применение в которых базальтового наполнителя по сравнению со стекловолокном позволит снизить стоимость композиционного материала, его гигроскопичность, повысить температуру эксплуатации.

На основе базальтовой ткани БТ-11 и полиимидного связующего СП-97К был произведен базальтопластик, механические свойства, которого указаны в таблице 2.

Базальтопластик СТАФ-4 изготавливался методом прямого прессования и рекомендован для изготовления деталей конструктивно-теплоизоляционного назначения, в том числе и деталей двойкой кривизны, которые могут длительно (до 200 ч.) эксплуатироваться при температуре до 600° С и кратковременно (0,5 ч.)

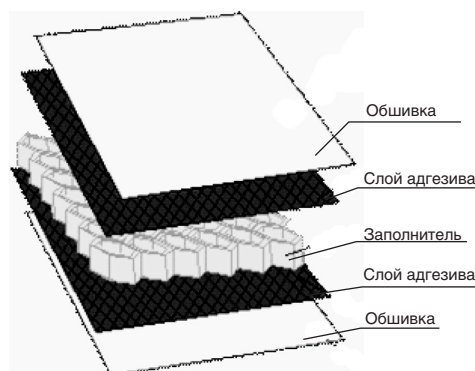


Рис. 1.  
Трехслойная сотовая панель

ТАБЛИЦА 1.  
Механические свойства базальтопластика

Показатели	Базальтопластик (БТ-11+полиимидное связующее)
Плотность кг/м <sup>3</sup>	1880
Прочность, Мпа При растяжении При изгибе При сжатии	390 480 380
Модуль упругости при растяжении, Мпа	37000
Толщина ткани	0,27
Коэффициент Пуассона	0,28

при температуре 700° С (табл. 2). При этом плотность материала составила ~1500 кг/м<sup>3</sup>.

Традиционный технологический процесс изготовления сотовых конструкций с обшивками из композиционных материалов:

1. не обеспечивает гарантированное качество при создании шумопоглощающих конструкций;
2. ограничивает область применения сотовых композиционных конструкций.

Целью данной работы является создание новой улучшенной конструкции с сотовым наполнителем в виде ячеек для яиц из базальтопластика, обладающей

повышенными прочностными, звукопоглощающими, теплоизоляционными и ударопрочными характеристиками. Технология изготовления новой панели аналогична традиционной технологии, однако базальтопластиковые соты изготавливаются заранее в специальной пресс-форме, в которой формируются объемные ячейчатые звукопоглощающие соты и давление в которой создается с помощью специальных термосиликоновых вкладышей (рис. 2).

Важной составляющей, влияющей на качество ЗПК также является соединение их между собой. Традиционно зона соединения композитных деталей об-

ТАБЛИЦА 2.

Сравнительные свойства базальтовых и стеклянных волокон

Свойства	Тип волокна	
	Базальтовое	Стеклоное
Термические		
Температура эксплуатации, °С	От -200 до +700	От -60 до +460
Температура спекания, °С	1050	600
Коэффициент теплопроводности, ккал/м ч °С	0,031–0,038	0,034–0,040
Физические		
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	2600	2540
Модуль упругости, МПа	910–1100	До 720
Сохранение прочности при растяжении после термической обработки, %		
при 200°С	95	92
при 400°С	82	52
Потеря в весе, %, после 3-часового кипячения в воде	0,2	0,7
в NaOH	6,0	6,0
в HCl		
Электрические		
Удельное объемное электрическое сопротивление, Ом см	2,2	38,9
Акустические	4,2 1013	1,3 1012
Нормальный коэффициент звукопоглощения	0,9–0,99	0,8–0,92

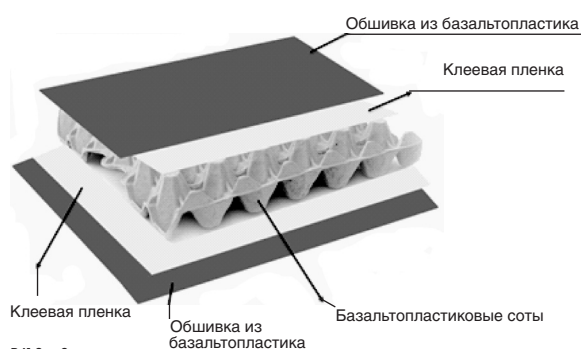


РИС. 2.

Шумопоглощающая панель ячеистой конструкции из базальтопластика

разуется механическими соединениями (болтовыми, заклепочными и т.д.), но при образовании отверстий в композите методом сверления перерезаются армирующие волокна, таким образом, ослабляется зона стыка. Для разрабатываемой ЗПК предлагается применять метод раздвижки волокон до процесса полимеризации КМ с последующим формованием обшивок.

Применение иголок в виде шипов в зоне соединения позволяет осуществить соединение панелей, не нарушая армирующих волокон.

Изготовленные ЗПК с использованием разработанной конфигурации трехслойной конструкции с сотовым блоком в виде ячеек для яиц гарантировано



будут иметь высокие звукопоглощающие и прочностные характеристики, что в будущем позволит решить проблемы с поглощением шума разработанной конструкцией и найти применение в конструкциях железнодорожных вагонов, автомобилях, судостроении, капотов авиадвигателей, домостроении и других видах изделий [6, 7].

## ВЫВОДЫ

Целью данной работы являлось создания новой улучшенной трехслойной сотовой панели из базальтопластика с сотами в виде ячеек для яиц, имеющей повышенные акустические, прочностные и ударопрочные характеристики. Из представленных материалов видно, что данная ЗПК имеет меньший вес, более высокую прочность и более высокий коэффициент поглощения. Замена имеющихся стеклопластиковых и углепластиковых ЗПК на базальтопластиковые, после прохождения экспериментальных исследований, может обеспечить наилучшие акустические эффекты панелей, применяемых в конструкции железнодорожных вагонов, домостроении, автомобилей, капотов авиадвигателей и других видах изделий.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Буланов И.М., Воробей В.В. Технология ракетных и авиакосмических конструкций из композиционных материалов. Учебник для вузов. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 1998. С. 516.
2. Васильев В.В., Протасов В.Д., Болотин В.В. и др. Композиционные материалы: Справочник. Под общ. ред. В.В. Васильева, Ю.М. Тарнопольского. М.: Машиностроение, 1990. С. 512.
3. Зотов А.А., Резниченко В.И. Композиционные материалы: классификация, состав и структура, свойства. М.: Факториал, 2015. С. 132.
4. Крысин В.Н., Крысин М.В. Технологические процессы формования, намотки и склеивания конструкций. М.: Машиностроение, 1989. С. 240.
5. Резниченко В.И., Хомич В.И. Применение композиционных материалов в энергетике, электротехнике и электронике. М.: Российский Дом Знаний. 1992. С. 238.
6. Baker A., Dutton S., Kelly D. (Editors), "Composite Materials for Aircraft Structures," Second Edition, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Reston, VA, 2004.
7. Masters J.E., Portanova M.A. Standard Test Methods for Textile Composites, NASA Langley Research Center, NASA CR-4751, 1996.

## REFERENCES

1. BULANOV I.M., VOROBEEV V.V. Technology of rocket and aerospace structures from composite materials. Textbook for high schools. Moscow. Izd-vo MGTU im. N.E. Bauman. 1998:516. (In Russian).
2. VASILIEV V.V., PROTASOV V.D., BOLOTIN V.V. ET. AL. Composite materials: a Handbook. Under total ed. V.V. Vasilyeva, Yu.M. Tarnopolsky. Moscow. Mashinostroenie, 1990:512. (In Russian).
3. ZOTOV A.A., REZNICHENKO V.I. Composite materials: classification, composition and structure, properties. Moscow. Factorial, 2015:132. (In Russian).
4. KRYSIN V.N., KRYSIN M.V. Technological processes of forming, winding and gluing structures. Moscow. Mashinostroenie, 1989:240. (In Russian).
5. REZNICHENKO V.I., KHOMICHI V.I. Application of composite materials in power engineering, electrical engineering and electronics. Moscow: Rossiyskiy Dom Znaniy. 1992:238. (In Russian).
6. BAKER A., DUTTON S., KELLY D. (Editors), "Composite Materials for Aircraft Structures," Second Edition, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Reston, VA, 2004.
7. MASTERS J.E., PORTANOVA M.A. Standard Test Methods for Textile Composites, NASA Langley Research Center, NASA CR-4751, 1996.

**Резниченко Вячеслав Иванович**,  
к.т.н., доцент Московского авиационного института (национальный исследовательский университет),

☎ 125993, г. Москва, Волоколамское ш., д. 4,  
тел.: +7 (903) 122-47-11, +7 (985) 005-92-12