

Бондарев Б.А., Борков П.В., Бондарев А.Б. Модифицированный древесноволокнистый композиционный материал для железнодорожных шпал // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2017. – Т. 8, № 1. – С. 75–80. DOI: 10.15593/2224-9826/2017.1.06

Bondarev B.A., Borkov P.V., Bondarev A.B. Modified wood-fiber composite material for railway sleepers. *Bulletin of Perm National Research Polytechnic University. Construction and Architecture*. 2017. Vol. 8, no. 1. Pp. 75-80. DOI: 10.15593/2224-9826/2017.1.06



**ВЕСТНИК ПНИПУ.  
СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА  
Т. 8, № 1, 2017  
PNRPU BULLETIN.  
CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE**  
<http://vestnik.pstu.ru/arhit/about/inf/>



DOI: 10.15593/2224-9826/2017.1.06

УДК 625.142.45

## **МОДИФИЦИРОВАННЫЙ ДРЕВЕСНОВОЛОКНИСТЫЙ КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ШПАЛ**

**Б.А. Бондарев<sup>1</sup>, П.В. Борков<sup>1</sup>, А.Б. Бондарев<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Липецкий государственный технический университет, Липецк, Россия

<sup>2</sup>Управление дорог и транспорта Липецкой области, Липецк, Россия

### О СТАТЬЕ

Получена: 02 ноября 2016  
Принята: 30 декабря 2016  
Опубликована: 30 марта 2017

#### *Ключевые слова:*

модификация, фурановые смолы, полимерный композиционный материал, бензосульфокислота, отходы древесины, железнодорожные шпалы

### АННОТАЦИЯ

Рассмотрен композиционный материал на основе фурановых смол и отходов древесины. Увеличение срока службы и улучшение технического состояния путей и покрытия проезжей части городского моста достигаются путем замены деревянных шпал продольными железобетонными лежнями. Однако железобетонные элементы обладают повышенной жесткостью, что приводит к раннему износу ходовой части подвижного состава. Кроме того, для железобетонных шпал существует опасность электрокоррозии, поэтому наряду с непрерывными изысканиями способов повышения срока службы деревянных шпал ведутся исследования по созданию новых более долговечных и экономичных материалов, способных заменить древесину и железобетон. Представлены результаты модификации фурановых полимеров, а также экспериментальных исследований по подбору состава полимерного композиционного материала для железнодорожных шпал.

© ПНИПУ

© **Бондарев Борис Александрович** – доктор технических наук, профессор, e-mail: LN5P-48@mail.ru.

**Борков Павел Валерьевич** – кандидат технических наук, доцент, e-mail: borkovpv@mail.ru.

**Бондарев Александр Борисович** – кандидат технических наук, начальник отдела инноваций и проектирования, e-mail: ia1ex\_86@mail.ru.

**Boris A. Bondarev** – Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: LN5P-48@mail.ru.

**Pavel V. Borkov** – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, e-mail: borkovpv@mail.ru.

**Aleksandr B. Bondarev** – Ph.D. in Technical Sciences, Head of Innovations and Design, Roads and Transport Department, e-mail: ia1ex\_86@mail.ru.

## MODIFIED WOOD-FIBER COMPOSITE MATERIAL FOR RAILWAY SLEEPERS

B.A. Bondarev<sup>1</sup>, P.V. Borkov<sup>1</sup>, A.B. Bondarev<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Lipetsk State Technical University, Lipetsk, Russian Federation

<sup>2</sup>Department of Roads and Transport of the Lipetsk Region, Lipetsk, Russian Federation

---

### ARTICLE INFO

Received: 02 November 2016  
Accepted: 30 December 2016  
Published: 30 March 2017

#### Keywords:

modification, furan resin, polymer composite material, benzoylacetate, wood waste, railway sleepers

### ABSTRACT

The article is about a composite material based on furan resins and waste wood. The increase in service life and improvement of the technical condition of the track and cover the roadway of the city of the bridge is achieved by the replacement of wooden longitudinal concrete sleepers. However, reinforced concrete elements have a high stiffness, which leads to early wear of the undercarriage of rolling stock. In addition, for concrete sleepers, there is a danger of electrocorrosion. Therefore, along with continuous studies of ways of improving the service life of wooden sleepers, conducting research on the creation of new, more durable and energy efficient materials that can replace wood and concrete. It presents the results of modifying furan polymers, as well as experimental studies on the selection of polymer composite materials for railway sleepers.

© PNRPU

Одним из основных вопросов при размещении трамвайного проезда на мостах является устройство основания трамвайного пути. Очевидным является тот факт, что установка рельсов на деревянные шпалы в пределах моста нерациональна. Это объясняется тем, что шпалы на мосту подвергаются многократному воздействию нагрузки при опирании на твердое бетонное основание, а прогибы рельса между шпалами вредно сказываются на работе асфальтобетона. В связи с этим основной задачей по увеличению срока службы и улучшению технического состояния путей и покрытия проезжей части городского моста является замена деревянных шпал (там, где они еще есть) продольными железобетонными лежнями и устройство железобетонных подрельсовых оснований [1]. Однако железобетонные элементы обладают повышенной жесткостью, что приводит к раннему износу ходовой части подвижного состава. Кроме того, для железобетонных шпал, работающих в условиях блуждающих токов, существует опасность электрокоррозии, поэтому наряду с непрерывными изысканиями способов повышения срока службы деревянных шпал ведутся исследования по созданию новых более долговечных и экономичных материалов, способных заменить древесину и железобетон. Одним из таких материалов является древесностекловолокнистый композиционный материал (ДСВКМ), получаемый на основе отходов лесной и деревообрабатывающей промышленности [2–6].

Вопросы совместимости фурановых смол и древесины уже находили свое решение. Ранее была выдвинута гипотеза, суть которой заключается в том, что олигомер ФАМ, получаемый из отходов древесины, и древесный наполнитель в виде щепы по своему химическому строению и физико-механическим характеристикам должны быть совместимы в создаваемом композиционном материале, обеспечивая ему прочность, коррозионную стойкость при одновременном снижении жесткости и массы, приближая их к соответствующим характеристикам древесины. Было установлено, что олигомер (смола) ФАМ является полярным по отношению к древесине, краевой угол смачивания очень мал (от  $-5$  до  $8$  °C) [2, 7].

В результате анализа структурных схем молекул компонентов ДСВКМ была выявлена очевидная возможность возникновения водородных связей, которым предшествует

физическая адсорбация, осуществляемая вандерваальсовыми силами, активизирующими диполь-дипольное взаимодействие, а также было показано, что процесс возникновения сильных адгезионных связей между олигомером ФАМ и древесиной является очень сложным, его фазы взаимопереплетаются во времени, зависят от температуры и качества поверхности субстрата. Данный процесс можно объяснить различными теориями, каждая из которых имеет право на существование. Выявлена экспериментальная зависимость степени отверждения олигомера ФАМ от содержания древесной щепы комнатно-сухой влажности (8 %). Повышение степени отверждения может быть объяснено всасывающей способностью сухой древесины, в результате чего из полимерной мастики ФАМ на андезите и саже удаляется свободная вода, способная ингибировать реакцию полимеризации олигомера.

С позиций механики композиционных материалов теоретически установлено, что армирование наиболее удаленных от нейтральной оси волокон строительных элементов распущенным стеклотканью, например шпал, должно обезопасить полимерную матрицу от возникновения усадочных трещин, которые могут появиться в ней в процессе отверждения. Теоретически осуществлено прогнозирование модуля упругости ДСВКМ при растяжении. При экспериментальном подтверждении его величины, равной  $1,25 \cdot 10^4$  МПа, установлено, что она близка к модулю упругости древесины и в два раза ниже модуля упругости железобетона. Нашими исследованиями установлено, что монофурфурилиден-ацетоны реагируют друг с другом по двойной связи, а также взаимодействуют за счет карбоксильных групп и атомов водорода метиновых групп. При этом образуются плавкие и растворимые олигомеры.

Сетчатые фурановые полимеры обладают высокой теплостойкостью (300–500 °С), химической (при воздействии агрессивных сред) и радиационной стойкостью. Основным недостатком фурановых олигомеров является то, что их отверждение сопровождается значительным увеличением их плотности и, следовательно, существенной усадкой. Это приводит к растрескиванию материала и ухудшению его адгезии, поэтому для улучшения свойств фурановых полимеров в них вводят минеральные и/или волокнистые наполнители. Перевод фурфурилиденацетонов в полимеры сетчатого строения осуществляется при нагревании или в присутствии катализаторов. Самым дешевым и доступным катализатором являются сульфокислоты, в частности бензолсульфокислота (БСК). Основным недостатком данного катализатора является необходимость разогрева его до температуры 65–70 °С, соответствующей его переходу из твердого в жидкое состояние, что обусловлено необходимостью равномерного распределения БСК в объеме композиции. Особенно сложно применять бензолсульфокислоту в осенне-зимний период, когда понижение температуры способствует ее быстрому охлаждению в расплавленном состоянии. Одним из перспективных направлений по переводу БСК из твердого состояния в жидкое является дополнительное введение в него небольшого количества растворителя. Наиболее приемлемыми с экономической и экологической точки зрения являются спиртовые растворители, в качестве которых могут быть использованы одно- и многоатомные спирты, эфиры на их основе и др.

На первом этапе исследований была рассмотрена возможность использования ряда органических растворителей для перевода БСК из твердого состояния в жидкое. При этом важным является определение минимальной добавки растворителя к бензолсульфокислоте для сохранения жидкофазного состояния при температуре расплавленной БСК ниже 30 °С.

В качестве растворителей – замедлителей реакции кристаллизации (ЗРК) – были использованы следующие кислородсодержащие органические соединения: бутанол, этиленгликоль, глицерин, триацетатглицерина, диметиловый эфир диэтиленгликоля (ДМЭДЭГ), полиэтиленгликоль, тетраэтоксисилан (ТЭС). Интерес к соединениям данного типа базировался на их невысокой токсичности, хорошей совместимости с БСК и доступности.

На основе проведенных исследований было установлено (таблица), что введение в БСК 10–12 % бутанола, этиленгликоля, глицерина, ДМЭДЭГ обеспечивает сохранение БСК жидкофазного состояния бензолсульфокислоты как при обычных положительных, так и при отрицательных температурах (от –5 до –10 °С) и возможность применения данного состава в осенне-зимний период. Применение полиэтиленгликоля (400), триацетатглицерина в количестве 10–12 % обеспечивает сохранение жидкофазного состояния БСК только при положительных температурах, а ТЭС – только при дозировке 50 %.

При отрицательных температурах (от –5 до –10 °С) композиции на основе БСК с добавками полиэтиленгликоля (400), триацетатглицерина и ТЭС застывали. Для сохранения жидкофазного состояния композиции требовалось применение повышенных дозировок данных компонентов (25–50 % от массы БСК). На основе данных таблицы можно сделать вывод, что перспективными модифицирующими добавками в БСК для сохранения жидкофазного состояния являются бутанол, этиленгликоль, глицерин, триацетатглицерина и ДМЭДЭГ.

Проведенные исследования по определению влияния данных модифицирующих добавок на прочностные свойства отвержденных композиций на основе ФАМ показали, что наименьшие отклонения от контрольного образца имеют композиции, содержащие бутанол, триацетатглицерина и ДМЭДЭГ. Они могут быть рекомендованы для введения в состав ДСВКМ в количестве 8–15 % от массы БСК. Глицерин и особенно этиленгликоль при повышенных дозировках (свыше 20 % на БСК) оказывают отрицательное влияние на прочностные показатели отвержденных композиций.

Оценка состояния композиций от количества модифицирующей добавки  
Assessment of compounds depending on the amount of modifying additives

Модифицирующая добавка в БСК	Количество модифицирующей добавки от массы БСК			
	0 (контрольный)	12	25	50
Бутанол	Твердый	Жидкий	Жидкий	Жидкий
Этиленгликоль	Твердый	Жидкий	Жидкий	Жидкий
Глицерин	Твердый	Жидкий	Жидкий	Жидкий
Триацетатглицерина	Твердый	Жидкий при 20 °С	Жидкий	Жидкий
Диметиловый эфир диэтиленгликоля	Твердый	Жидкий	Жидкий	
Тетраэтоксисилан	Твердый	Твердый	Жидкий	Жидкий
Полиэтиленгликоль 400	Твердый	Жидкий при 20 °С	Жидкий при 20 °С	Жидкий

*Примечание.* В графах, где указано «жидкий», композиции на основе БСК сохраняют жидкофазное состояние как при положительных, так и отрицательных температурах.

Результаты исследований, изложенные в данной статье, а также опыт авторов по практической отливке шпалы новой формы позволили предложить модифицированный состав ДСВКМ, в котором, однако, сохранились основные соотношения между его компонентами при 50%-м объеме содержания щепы в шпале массой 150 кг.

Действительно, в фактическом объеме шпалы, равном  $0,124 \text{ м}^3$ , объемное содержание щепы составляет  $0,062 \text{ м}^3$ , т.е. 50 %, как рекомендовалось выше.

В  $1 \text{ м}^3$  ДСВКМ содержится 177 кг щепы или 17,2 % от массы СВПБ-матрицы, равной 1031 кг (рекомендовалось 18 %).

ФАМ содержится в ДСВКМ в объеме 21 или 24,8 % в составе матрицы, что обеспечивает достаточно низкую ее вязкость, необходимую для заполнения пространства между элементами древесного армирующего заполнителя – щепы.

Количество замедлителя реакции кристаллизации (8 кг) составляет 14 % от массы БСК 56 кг (рекомендовано 8–15 %).

Количество графитной электродной муки (32 кг) составляет 3,2 % от массы матрицы 999 кг (рекомендовалось 4 %).

Количество хлорида свинца (40 кг) составляет 4 % от массы матрицы (991 кг) против 4,5 %, рекомендованных выше.

Количество андезитовой муки или при ее отсутствии молотого кварцевого песка составляет 16,4 % (60,5 кг) от массы матрицы 878 кг, что соответствует общепринятым рекомендациям.

Количество БСК от массы ФАМ составляет 22 %, что приемлемо и для зимних, и для летних условий производства.

Вместе с тем необходимо уточнение физико-механических характеристик ДСВКМ предложенного состава.

Выводы:

1. Установлено, что наилучшую прочность и минимальное поглощение агрессивных сред обеспечивает введение в базовый состав СВПБ ФАМ на андезите хлоридов свинца и бария. Для дальнейших исследований принято решение применять хлорид свинца как менее дефицитный и обладающий лучшими показателями химической стойкости.

2. Анализ зависимостей прочности при сжатии и массопоглощения агрессивных сред от содержания хлорида свинца показал, что существует зона благоприятных свойств, в пределах которой наблюдаются наименьшее поглощение этих сред и наибольшая точность. Эти качества имеют место при введении в базовый состав СВПБ ФАМ на андезите 4,19–5,31 % хлорида свинца от массы этого состава.

3. Если известно оптимальное содержание добавки в базовом составе матрицы ДСВКМ, то можно гарантировать и наилучшую химическую стойкость этого состава в соответствующих средах.

## Библиографический список

1. Поветкин С.В., Борков П.В., Бондарев А.Б. Трещиностойкость деревянных элементов конструкций транспортных сооружений на лесовозных дорогах // Вестник Волгоград. гос. арх.-строит. ун-та. Строительство и архитектура. – 2009. – № 16 (35). – С. 40–45.

2. Харчевников В.И. Композиционный материал на основе отходов лесного комплекса для железнодорожных шпал / Воронеж. гос. лесотехн. акад. – Воронеж, 2000. – 292 с.

3. Bondarev B.A., Borkov P.V., Bondarev A.B. An outlook on the application of glass-reinforced plastic and polymer concrete components in bridge construction // Procedia Engineering. – 2016. – Vol. 150. – P. 1617–1622.

4. Древесностекловолоконистый композиционный материал для элементов конструкций трамвайных путей / Б.А. Бондарев, П.В. Борков, Р.Ю. Сапрыкин, А.Б. Бондарев //

Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2015 году: сб. науч. тр. РААСН. – М.: АСВ, 2016. – 618 с.

5. Долговечность композиционных материалов на основе фурфуролацетонового мономера / П.В. Борков, А.Д. Корнеев, Б.А. Бондарев, М.Ф. Мелешкин // Строительные материалы. – 2013. – № 5. – С. 64–65.

6. Прогнозирование циклической долговечности полимербетонов в элементах конструкций транспортных сооружений / А.Д. Корнеев, П.В. Борков, А.Б. Бондарев, Л.А. Прозорова // Вестник Волгоград. гос. арх.-строит. ун-та. Строительство и архитектура. – 2011. – № 21. – С. 72–77.

7. Бондарев Б.А. Шпалы из древесностекловолоконистых композиционных материалов для лесовозных железных дорог широкой и узкой колеи: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – Воронеж, 1996. – 20 с.

## References

1. Povetkin S.V., Borkov P.V., Bondarev A.B. Treshchinostjkost' derevyannyh ehlementov konstrukcij transportnyh sooruzhenij na lesovoznyh dorogah [The fracture toughness of the wooden structural elements of transport facilities on logging roads]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura*, 2009. No. 16 (35). pp. 40-45.

2. Harchevnikov V.I. Kompozicionnyj material na osnove othodov lesnogo kompleksa dlya zheleznodorozhnyh shpal [Composite material based on waste forest complex, railway sleeper]. Voronezh: VGLTA, 2000. 292 p.

3. B.A. Bondarev, P.V. Borkov, A.B. Bondarev An Outlook on the Application of Glass-Reinforced Plastic and Polymer Concrete Components in Bridge Construction. *Procedia Engineering*, 2016, vol. 150, pp. 1617-1622.

4. Bondarev B.A., Borkov P.V., Saprykin R.YU., Bondarev A.B. Drevesnosteklovoloknistyj kompozicionnyj material dlya ehlementov konstrukcij tramvajnyh putej [Wood-fiberglass composite material for construction elements of the tram tracks]. *Fundamental'nye, poiskovyje i prikladnye issledovaniya RAASN po nauchnomu obespecheniyu razvitiya arhitektury, gradostroitel'stva i stroitel'noj otrasli Rossijskoj Federacii v 2015 godu: Sb. nauch. tr. RAASN*. Moscow: Izdatel'stvo ASV, 2016. 618 p.

5. Borkov P.V., Korneev A.D., Bondarev B.A., Meleshkin M.F. Dolgovechnost' kompozicionnyh materialov na osnove furfurolacetonovogo monomera [Durability of composite materials on the basis furfurolic monomer]. *Stroitel'nye materialy*, 2013, no. 5, pp. 64-65.

6. Korneev A.D., Borkov P.V., Bondarev A.B., Prozorova L.A. Prognozirovanie ciklicheskoj dolgovechnosti polimerbetonov v ehlementah konstrukcij transportnyh sooruzhenij [Prediction of the cyclic durability of polymer concrete in the elements of structures of transport constructions]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura*, 2011, no. 21, pp. 72-77.

7. Bondarev B.A. Shpaly iz drevesnosteklovoloknistyh kompozicionnyh materialov dlya lesovoznyh zheleznyh dorog shirokoj i uzkoj kolei [Sleepers of wood-fiberglass composite materials for forest Railways broad and narrow gauge]. Abstract of Ph.D. thesis. Voronezh, 1996. 20 p.