

**ДРЕВЕСНОСТЕКЛОВОЛОКНИСТЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ  
НА ОСНОВЕ ПОЛИЭФИРНЫХ СМОЛ ДЛЯ КОНСТРУКЦИЙ ШПАЛ  
ЛЕСОВОЗНЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ**

**WOOD-GLASS-FIBER COMPOSITE MATERIALS BASED ON POLYESTER RESINS  
FOR TIMBER RAILWAY SLEEPER STRUCTURES**

**Бондарев Б.А.**, доктор технических наук, профессор ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», Россия, Липецк.

**Bondarev B.A.**, Doctor of Technical Sciences, Professor FGBOU VO «Lipetsk State Technical University», Lipetsk, Russia.

**Бондарев А.Б.**, кандидат технических наук, заместитель начальника управления транспорта и дорог, администрация Липецкой области, Россия, Липецк.

**Bondarev A.B.**, Candidate of Technical Sciences, Administration of the Lipetsk region, Lipetsk, Russia

**Корнеева А.О.**, кандидат технических наук, доцент ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», Россия, Липецк.

**Korneeva A.O.**, Candidate of Technical Sciences, associate professor FGBOU VO «Lipetsk State Technical University», Lipetsk, Russia.

**Басинских Е.В.**, магистрант ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», Россия, Липецк.

**Basinskikh E.V.**, Master Student FGBOU VO «Lipetsk State Technical University», Lipetsk, Russia.

**Аннотация.** Древесностекловолокнистые композиционные материалы (ДСВКМ) находят свое применение в транспортном строительстве (шпалы, брусья стрелочных переводов и т.д.). Матрицей для изготовления ДСВКМ служили полимерные растворы на основе фурфуролацетонного мономера (ФАМ). В статье предлагается в качестве матрицы использовать полиэфирную смолу Halex HAS-2061, которая, в свою очередь, обладает химической стойкостью, диэлектрическими свойствами, повышенной ударной вязкостью, имеющей достаточные прочностные характеристики, значительной растяжимостью. Для применения вышеуказанного материала в элементах конструкций шпал лесовозных железных дорог необходимо знание его работы при многократном нагружении. Эксперименты на выносливость велись при различных коэффициентах асимметрии цикла приложения нагрузки  $\rho_v=0,1; 0,3; 0,6$ . В результате экспериментов были получены значения предела выносливости исследуемого материала, позволяющие сделать вывод о возможности применения его в конструкциях шпал лесовозных железных дорог.

**Summary.** Wood-glass-fiber composite materials (WGFCM) are used in transport construction (sleepers, switch bars, etc.). Polymer solutions based on furfuralacetone monomer (FAM) served as a matrix for the manufacture of WGFCM. The article suggests using Halex HAS-2061 polyester resin as a matrix, which, in turn, has chemical resistance, dielectric properties, increased impact strength, having sufficient strength characteristics, and significant extensibility.

For the application of the above material in the structural elements of sleepers of logging railways, it is necessary to know its operation under repeated loading. Endurance experiments were conducted at different coefficients of the load application cycle asymmetry  $\rho_b=0,1; 0,3; 0,6$ . As a result of the experiments, the values of the endurance limit of the material under study were obtained, which allow us to conclude that it can be used in the construction of timber railway sleepers.

**Ключевые слова:** полиэфирные смолы, полимербетоны, предел выносливости, шпалы.

**Keywords:** polyester resins, polymer concrete, endurance limit, sleepers.

В.И. Харчевниковым и О.П. Плужниковой был спроектирован состав полимерного раствора (ПР) на ФАМ и андезите, хаотически армированный жгутом или сечкой на основе стекла алюмоборосиликатного состава (СВКМ) [1]. Приведем расчет расхода этого материала на один строительный элемент (шпалу типа А1) объемом  $0,12 \text{ м}^3$  и массой  $0,12 \cdot 1930 = 232 \text{ кг}$ . Этот вид СВКМ был принят за прототип создаваемого древесностекловолокнистого композиционного материала, а затем использовался как одна из его матриц (таблица 1) [2, 3, 4].

**Таблица 1.** Расчет состава СВКМ на одну шпалу в  $\text{м}^3$ .

Компонент СВКМ	Состав		Объем в 1000 кг	Объем 232 кг	Масса компонента в шпале, кг	Содержание в $1 \text{ м}^3$ , кг
	м.ч.	% по массе	масса в 1000 кг/плотность, $\text{кг}/\text{м}^3$			
ФАМ	6,0	25	$250/1400=0,1786$	0,0415	57,86	483
БСК	1,0	4	$40/1700=0,0235$	0,0055	9,35	78
АН	3,8	16	$160/2600=0,0615$	0,0043	37,18	310
П	12,7	53	$530/2600=0,2039$	0,0473	122,92	1024
СВ	0,5	2	$20/2700=0,0017$	0,0017	4,59	38
ИТОГО:	24	100		0,1103	231,96	1933

Однако за время, прошедшее после распада СССР, производство фурфуролацетонового мономера (ФАМ) в Российской Федерации так и не было восстановлено. Зато динамично стала развиваться индустрия по производству полиэфирных смол различных марок, в связи с этим актуальным направлением стала разработка новых составов для полимерных растворов, являющихся матрицей для производства шпал из древесностекловолокнистого композиционного материала (ДСВКМ), и изучению его свойств при статических и динамических нагрузках.

Для испытаний были изготовлены призмы размерами  $100 \times 100 \times 400 \text{ мм}$  из состава приведенного в таблице 2.

**Таблица 2.** Состав полимербетонной смеси

№ п/п	Компоненты	Содержание, кг на м <sup>3</sup>
1	Полиэфирная смола Horex HAS 2061	275
2	Отвердитель( к смоле Horex HAS 2061 )	5,5
3	Песок средний Мк=2...2,5 мм	610
4	Микрокремнезем МК-85 высокого качества	82,39
5	Древесная стружка (хвойные породы)	354

Испытания на кратковременное воздействие нагрузок проводилось на прессе П-50 (рисунок 1). Всего было испытано 10 образцов-призм, по результатам испытаний которых были получены следующие прочностные характеристики:

- предел прочности на сжатие – 39,7Мпа;
- предел кратковременной прочности – 29,07Мпа.



**Рисунок 1.** Испытательное оборудование для кратковременных испытаний полимербетона

Экспериментальные исследования на выносливость полимербетона при сжатии проводили на испытательной машине ГРМ-2А, состоящей из двух систем – неподвижной и подвижной. Неподвижная система включает в себя основание, вертикальные колонны и верхнюю поперечину, связывающую колонны. Подвижная система, выполняющая роль реверса, состоит из поперечины с верхним захватом, подъемных тяг с винтовой резьбой и малой подвижной поперечиной. В машине имеется нижний захват, перемещаемый от электродвигателя, пульсатор в виде одно-поршневого насоса для создания циклической нагрузки и пульт управления.

Статическая нагрузка в машине измеряется маятниковым силоизмерителем, а с помощью самопишущего прибора осуществляется запись кривых нагрузки – деформации.

Циклическая нагрузка создается чередующимися нагнетаниями и отсосами масла из полости рабочего цилиндра машины после предварительной статической нагрузки.

Для измерения деформации полимербетона применяли тензометрический мост ЦТМ-5, связанный с печатающим устройством. Измерения прогибов при испытаниях на выносливость и при длительных статических испытаниях производили индикаторами часового типа ИЧ-10, ИЧ-50 с ценой деления 0,01 мм.

Испытания проводились с частотой приложения нагрузки 670 циклов/мин с коэффициентами асимметрии циклов  $\rho_v=0,1; 0,3; 0,6$ . Всего было испытано 18 элементов по 6 в каждой серии.

Испытания образцов в каждой серии велись при разных уровнях нагрузки, составляющей определенную долю от разрушающей при постоянном для всей серии образцов коэффициенте асимметрии цикла. Все образцы доводились до разрушения с фиксацией по счетчику количества цикла в приложении нагрузки. Для установления количественных связей между пределом выносливости и логарифмом числа циклов до разрушения использовался метод прямолинейной корреляции. В процессе испытаний производилось измерение продольных и поперечных деформаций с помощью тензометрии.

При коэффициенте асимметрии цикла  $\rho_v=0,1$  уравнение эмпирической линии выносливости принимает вид:

$$\sigma_N = 43,91 - 4389 \ln N ,$$

где  $\sigma_N$  – предел выносливости полимербетона;

$N$ – число циклов до разрушения.

При  $\rho_v=0,3$

$$\sigma_N = 36,42 - 3,09 \ln N .$$

При  $\rho_v=0,6$

$$\sigma_N = 37,45 - 3,14 \ln N .$$

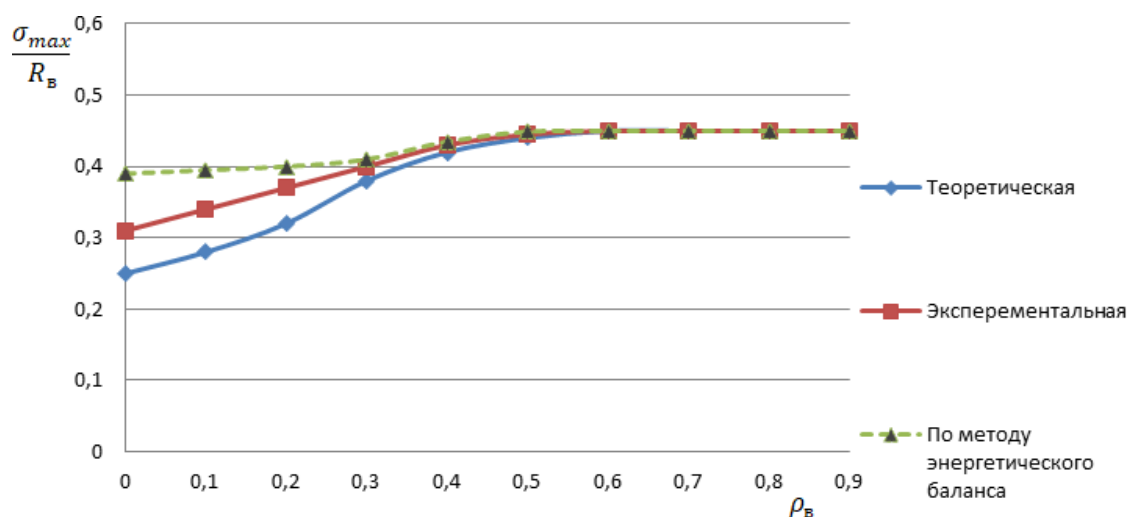
В основу теоретических исследований полимербетона на выносливость положены методы структурной диаграммы и энергетического баланса [5, 6, 7].

На рисунке 2 приведены результаты сравнения экспериментальных и теоретических исследований полимербетона на выносливость по вышеуказанным методикам. График зависимости  $\frac{\sigma_{max}}{R_b} = \rho$ . Расхождение составляет 5-10%, что вполне допустимо.

Для расчетов на выносливость установлены коэффициенты условий работы  $\gamma_s$ , которые приведены в таблице 3.

**Таблица 3.** Коэффициенты условий работы полиэфирного полимербетона

$\rho_v$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$\gamma_s$	0,44	0,47	0,49	0,50	0,52	0,54	0,56	0,58	0,60	0,61



**Рисунок 2.** Результаты сравнения экспериментальных и теоретических исследований полимербетона на выносливость.

Таким образом, матрица для создания древесностекловолокнистого композиционного материала на основе полиэфирной смолы HalexHAS-2061 имеет следующие показатели выносливости:

при  $\rho_v=0,1$   $R_{v,pul}=0,36R_v$ ;

при  $\rho_v=0,3$   $R_{v,pul}=0,44R_v$  ;

при  $\rho_v=0,6$   $R_{v,pul}=0,47R_v$  ;

где  $R_{v,pul}$  – предел выносливости,  $R_v$  – предел прочности полимербетона при сжатии.

Для сравнения показатели для матриц на основе полимербетона ФАМ следующие:

при  $\rho_v=0,1$   $R_{v,pul}=0,37R_v$ ;

при  $\rho_v=0,3$   $R_{v,pul}=0,40R_v$ ;

при  $\rho_v=0,6$   $R_{v,pul}=0,45R_v$  [8,9,10].

Если принять во внимание, что исследуемый композиционный материал обладает высокой химической стойкостью, диэлектрическими свойствами, достаточной прочностью и повышенной ударной вязкостью, то он вполне может быть использован для конструкций шпал лесовозных железных дорог.

### Список литературы

1. Новый композиционный материал на основе отходов лесного комплекса для железнодорожных шпал / Т.Н. Стородубцева [и др.] // Восстановление лесов, ресурсо- и энергосберегающей технологии лесн.комплекса: материалы межвуз.научн.-практ. конф., посвященной 70-летию ВГЛТА, Воронеж, 27-29 сент.2000 г.- Воронеж: ВГЛТА, 2000. – С.396-399.
2. Харчевников, В.И. Стекловолокнистые полимербетоны-коррозионностойкие материалы для конструкций химических производств : автореф. дисс... д-ра техн. наук / В.И. Харчевников – М.: НИИЖБ, 1983. – 33 с.
3. Харчевников, В.И. Стеклопластполимербетонные конструкции / В.И. Харчевников // Исследования строительных конструкций с применением полимерных материалов: межвузовский сборник. – Воронеж: ВГУ, 1980. – С. 40-42.

4. Зобов, С.Ю. Древесностекловолокнистый композиционный материал с заданными свойствами для шпал различного назначения : автореф. дис... канд. тех. наук / С.Ю. Зобов. – Воронеж: ВГУ, 1997. -23 с.
5. Иванов, А.М. Структурная диаграмма фурфурацетонного пластбетона при сжатии / А.М. Иванов, Ю.Б. Потапов // Механика полимеров (Рига). – 1968. - №3. – С.454-461.
6. Чебаненко, А.И. Основы теории расчета армополимербетонных конструкций / А.И. Чебаненко // Бетон и железобетон. – 1984. -№8. – С.15-18.
7. Чебаненко, А.И. Армополимербетонные строительные конструкций / А.И. Чебаненко. – М.: Стройиздат, 1988. – 436 с.
8. Бондарев, Б.А. Шпалы из древесноволокнистых композиционных материалов для лесовозных железных дорог широкой и узкой колеи : автореф. дис... д-ра тех. наук / Б.А. Бондарев. – Воронеж, 1996. – 42 с.
9. Стородубцева, Т.Н. Композиционный материал на основе древесины для железнодорожных шпал: Трещиностойкость под действием физических факторов : моногр. / Т.Н. Стородубцева. – Воронеж: Изд-во Воронеж. Гос. Ун-та, 2002. – 216 с.
10. Стородубцева, Т.Н. Упругие характеристики древесины сосны-армирующего заполнителя композиционных материалов на основе полимерного и цементного связующего факторов / Т.Н. Стородубцева, В.И. Харчевников // Изв. Вузов. Лесн. Журн. – 2002. -№6. – С. 52-59.

#### References

1. New composite material based on forest complex waste for railway sleepers / T. N. Storodubtseva [et al.] // Forest restoration, resource and energy saving technologies of lesn.complex: materials of interuniversity.scientific.- practical conference dedicated to the 70<sup>th</sup> anniversary of VGLTA, Voronezh, 27-29 Sept.2000-Voronezh: VGLTA, 2000, pp. 396-399.
2. Kharchevnikov, V. I. Glass-fiber polymer concrete-corrosion-resistant materials for chemical production structures: autoref. Diss... na soisk. Uch. St. d. t. n. / V. I. Kharchevnikov-M.: NIIZHВ, 1983, 33 p .
3. Kharchevnikov, V. I. Stekloplastpolymerbetonnye konstruksii / V. I. Kharchevnikov / / Research of building structures with the use of polymer materials: mezhvuzovsky sbornik. – Voronezh: VSU, 1980, pp. 40-42.
4. Zobov, S. Yu. Wood-glass-fiber composite material with specified properties for sleepers of various purposes: abstract of the dissertation of the Candidate of technical sciences / S. Yu. Zobov. – Voronezh: VSU, 1997, 23 p.
5. Ivanov, A.M. Structural diagram of furfurolacetone plastic concrete under compression / A.M. Ivanov, Yu. B. Potapov // Mechanics of Polymers (Riga), 1968, no. 3, pp. 454-461.
6. Chebanenko, A. I. Osnovy teorii rascheta armopolymerbetonnykh konstruksii [Fundamentals of the theory of calculation of armopolymerbetonnykh konstruksii] / A. I. Chebanenko // Concrete and reinforced concrete, 1984, no. 8, pp. 15-18.
7. Chebanenko, I. A. Hermopolitan building structures / A. I. Chebanenko. – М.: Stroyizdat, 1988, 436 p.
8. Bondarev, B. A. Sleepers from wood-fiber composite materials for logging railroads broad and narrow gauge : author. Dis... d-RA technical Sciences / B. A. Bondarev. – Voronezh, 1996, 42 p.

9. Storodubtseva, T. N. Composite material based on wood for railway sleepers: Crack resistance under the influence of physical factors: monogr. / T. N. Storodubtseva. – Voronezh: Publishing House of Voronezh State University, 2002, 216 p.
10. Storodubtseva, T. N. Elastic characteristics of pine wood-reinforcing aggregate of composite materials based on polymer and cement binder factors / T.N. Storodubtseva, V.I. Kharchevnikov // *Izv.vuzov. Lesn. Zhurnal*, 2002, no. 6, pp. 52-59.