

## Шпалы для скоростных железных дорог из полимербетона

*О. Фиговский, А. Футорянский, А. Штейнбок*

*Israel Association of Inventors, Haifa, Israel*

**Аннотация:** Описано применение полимербетонных шпал на основе резинобетона (RubCon®) с неметаллической композитной арматурой и методика изготовления таких шпал.

**Ключевые слова:** шпалы, полимербетон, резинобетон, композиты, арматуры, методика изготовления.

Шпалы, изготовленные из полимербетона, обладают всеми необходимыми качествами и отвечают всем требованиям, которые предъявляются к шпалам для скоростных железных дорог. Прежде всего, это повышенная механическая прочность на сжатие и растяжение. Это устойчивая сопротивляемость деформациям от нагрузок динамического характера. Кроме того, полимербетон — это долговечный материал, обладающий водоотталкивающими свойствами и устойчивостью к воздействию агрессивных химических сред.

Предлагаемый полимербетон это резинобетон, защищенный патентом США [1]. Резинобетон – это первый в мире полимербетон, где в качестве вяжущего материала используется не эпоксидная, полиэфирная или фурановая смола, а жидкий каучук (полибутадиен). Такой бетон имеет прочность на сжатие до 90 МПа и на растяжение при изгибе до 30 МПа. (Что особенно важно, так как этот показатель прочности на растяжение значительно превосходит прочность на растяжение обычного бетона на портландцементе). Водопоглощение полимербетона не превышает 0,06%. Полимербетон обладает высокой химической стойкостью, как в щелочах, так и в кислотах. Собственно, само вяжущее полимербетона может применяться как самостоятельное, химически высоко-стойкое, защитное покрытие, обладающее высокой адгезией к стали (до 11.5 МПа при отрыве) и работоспособное до температуры 95° С [2-5].

---

Технология производства таких шпал использует обычный агрегат, который используется для получения обычного бетона, но в качестве вяжущего применяется полимер. Так же, рекомендуется применение не металлической композитной арматуры [6,7].

Основные технические характеристики резинобетона-полимербетона (RubCon®) показаны в таблице 1.

Таблица № 1

Основные физико-химические и механические свойства **RubCon**

Indices	Units	RubCon
Плотность	kg/m <sup>3</sup>	2100-2300
Прочность при - сжатии - изгибе - натяжении	MPa	80-95 25-30 12-15
Модуль упругости	(MPa)10 <sup>4</sup>	2.0-2.7
Коэффициент Пуассона		0.26-0.28
Теплопроводность коэффициент	W/m/°C	0.3-0.5
Износостойкость	(kg/m <sup>2</sup> )10 <sup>-3</sup>	2-3
Удельная прочность	(J/m <sup>2</sup> )10 <sup>3</sup>	3.5-4.5
Термостойкость	°C	80-100
Гигроскопичность	%	0.05-0.06
Коэффициент химической стойкости при 20 °C (из расчета 360 дней воздействия) - 20% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> - 10% Молочная кислота - 20% Каустический поташ - 35% H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> - Вода - Солёная вода		0.97-0.98 0.95-0.96 0.97-0.98 0.96-0.98 0.99-0.995 1.00-1.05
Стойкость к истиранию	(kg/m <sup>2</sup> )10 <sup>-3</sup>	2-3.5

Изначально для укладки рельсовых путей использовались деревянные шпалы. Для предотвращения процесса гниения, древесину этих шпал приходилось пропитывать антисептиком – креозотом. Пропитка креозотом значительно удлиняет срок службы шпал, но все равно каждые 5 – 15 лет деревянные шпалы приходят в негодность. При этом возникает необходимость замены этих шпал! Срок службы деревянных шпал зависит от климатических условий и режима эксплуатации. Кроме того, что для изготовления шпал приходится вырубать лес в больших количествах, так еще и креозот проникая в почву наносит большой и непоправимый вред окружающей среде. Особенно остро стоит вопрос утилизации старых шпал. Утилизация деревянных шпал представляет собой большую и неразрешимую проблему, т.к. ежегодно по всему миру изымается из эксплуатации огромное количество шпал.

В результате, деревянные шпалы начали замещать более долговечными, но и более дорогими железобетонными шпалами [8]. А в некоторых случаях на подъездных путях предприятий, где преобладают высокотемпературные технологические процессы, применяются стальные шпалы [8]. Следующим, можно сказать эволюционным, этапом развития этой отрасли являются пластиковые – композиционные шпалы.

Сегодня производство пластиковых - композитных шпал наиболее интенсивно развивается в США с их самым большим в мире рынком железнодорожных шпал.

С 1998 года ведущие железнодорожные компании США Chicago Transit и Union Pacific Railroad начали испытания шпал, изготовленных из отходов полиэтилена низкого давления высокой плотности.

Производители используют различные технологии, но в основе их лежит обработка смешанного не промытого, переработанного полиэтилена высокой плотности и метод литья под давлением в закрытых пресс-формах.

---

Большинство процессов требует большого количества оборудования и долгого простоя этого оборудования для профилактики. Формы очень медленно заполняются и медленно остывают. Тестирование этих шпал продолжается и в настоящее время.

Разработка производства диеновых олигомеров, связанных с классом жидких каучуков с высокой вязкостью, позволила создать новый класс конгломератных полимерных композиционных материалов - резинобетон. Резинобетон - усовершенствованный конструкционный материал, созданный за последние годы школой академика Олега Фиговского (Ю.Потапов, Ю. Борисов, Д. Панфилов и др.) Такой полимерный бетон с уникальным набором физико-механических, химических и технологических свойств, которые позволяют получать на его основе высокоэффективные строительные конструкции и изделия.

RubCon не содержит цемента в качестве связующего; его матрицей является полибутадиен - полимер из семейства жидких каучуков, так что RubCon обладает эластичными свойствами и чрезвычайно устойчив к агрессивным химическим веществам, высокое отталкивание воды и обладает высокой прочностью на сжатие. Он не обнаруживает характерных для обычного бетона разрушений, таких как растрескивание и отслаивание, в результате последовательных циклов замораживания и оттаивания. Высокая сопротивляемость вибрации делает его идеальным материалом для устройства опорных подушек оборудования, работа которого сопровождается повышенной вибрацией.

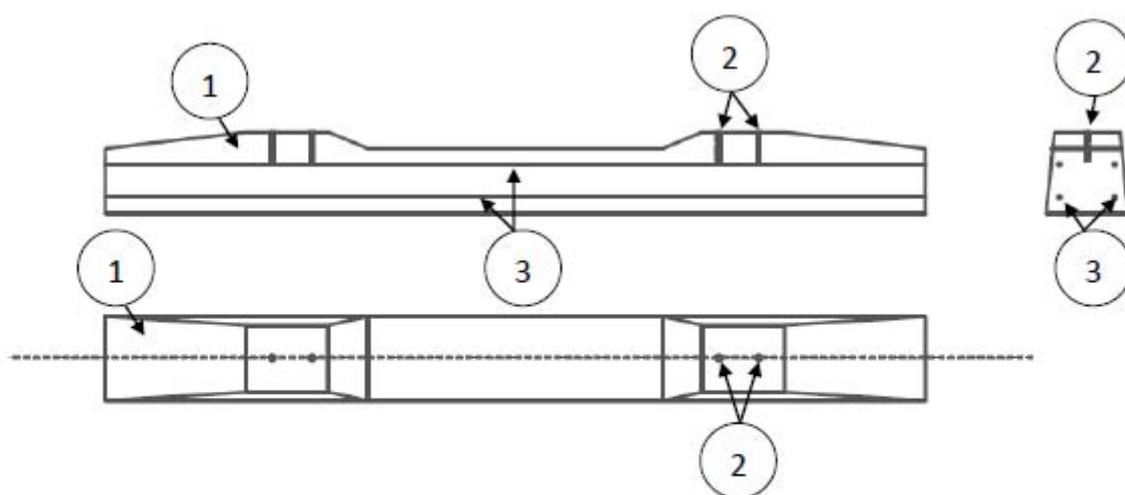
### **Техническое описание шпалы и процесса производства**

Шпалы из обычного железобетона на портландцементе можно считать прототипом шпал из полимербетона. Геометрия таких шпал и системы закрепления рельсов уже давно оптимально отработаны, и проверены на

---

практике. В виду чего есть смысл использовать в технологии полимербетонных шпал эти оптимальные параметры и наработки от существующих шпал прототипов.

В новой технологии возможно полностью использовать стальную опалубку обычных железобетонных шпал. Т.е. для изготовления шпал из полимербетона можно использовать опалубку шпал из обычного железобетона.



1. Шпала из полимербетона (RubCon)
2. Анкеры для крепления рельсового пути
3. Арматура

**Рис. 1: Общий вид шпалы**

RubCon выполняется по технологии схожей с технологией обычного бетона:

- Смешивается агрегат и вяжущее, т.е. полимер из семейства жидких каучуков, в данном случае.

- Смесь заливается в опалубку/форму в которой предварительно выполнен монтаж арматуры, возможно с предварительным натяжением. (Если есть необходимость в предварительном натяжении).

Исходная вяжущая смесь производится за пределами площадки из нетоксичных и полностью безопасных материалов. RubCon обладает значительной адгезией, т.е. сцеплением с металлической или не металлической арматурой. Затвердевание происходит в течение 12-48 часов. Для улучшения качества и ускорения процесса затвердевания необходимо нагревать опалубку до  $120^{\circ}\text{C}$ . Таким образом, через два дня изделие из RubCon можно вынимать из опалубки и через семь дней это изделие готово к восприятию рабочих нагрузок.

Благодаря своей эластичности, резинобетон устойчив к динамическим нагрузкам и не создаёт трещин. Опытным путём определили, что максимальное значение прочности RubCon достигается при содержании саптах 5% от массы, тогда как масса thiurarn-D 35%. Также проверялось влияния пропорций полимеров на эластичность.

По результатам эксперимента были найдены максимальные допустимые напряжения в материале на сжатие и растяжение при изгибе для образцов:

1. на основе жидкого каучука PBN® ( $\sigma_{\text{com}} = 93,0$  МПа,  $\sigma_b = 28,0$  МПа).
  2. на основе жидкого каучука Ricon 130® ( $\sigma_{\text{com}} = 94,0$  МПа,  $\sigma_b = 26,0$  МПа).
  3. на основе Polyoil 110 ® ( $\sigma_{\text{com}} = 84,0$  МПа,  $\sigma_b = 23,5$  МПа).
  4. на основе жидкого каучука SKDN-N® ( $\sigma_{\text{com}} = 81,00$  МПа,  $\sigma_b = 22,0$  МПа).
-

В таблице 1 приводятся основные усреднённые свойства предлагаемого бетона RubCon для шпал [9].

### **Неметаллическая арматура:**

Несмотря на высокие прочностные характеристики полимербетона, тяжелый режим работы шпал при динамических нагрузках от подвижного состава, предполагает появление деформаций и раскрытие трещин в том числе.

В настоящее время имеется достаточно большое количество патентов, где предлагаются варианты композитной стеклопластиковой арматуры. В качестве примера можно рассмотреть патент РФ [10]. Композитная арматура состоит из полимерной матрицы и равномерно расположенных в ней в определенном порядке армирующих продольных нитей (пучков нитей) низко модульных и высоко модульных волокон. Смотри Рис. 2, Рис. 3.

Возможно использование арматуры на основе матриц описанных в патенте РФ №2482248. Отношение площади полимерной матрицы к площади пучков нитей в поперечном сечении должно быть не менее 2.

На Рис. 2 и Рис. 3 приведены в качестве примера схемы строения подобной не металлической арматуры.

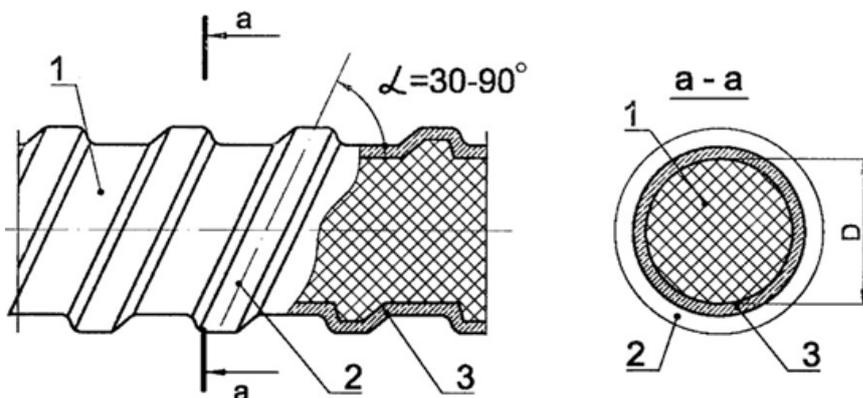
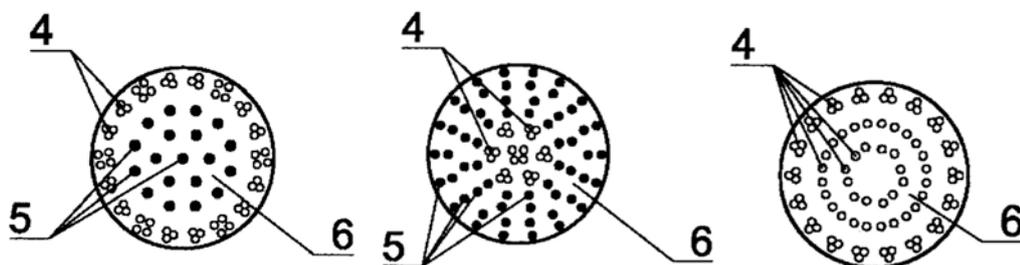


Рис. 2: общий вид и поперечное сечение арматуры

---



Где: 1 - тело стержня, 2 - поперечные кольцевые ребра, 3 - огнезащитное покрытие, 4 - базальтовые нити, 5 - углеродные нити, 6 - полимерная матрица.

Рис. 3: возможные варианты арматурной матрицы - поперечное сечение арматуры

### **Выводы**

Учитывая свойства полимербетона RubCon, т.е. физико-химические и механические свойства (смотри таблицу 1), а также технологию производства, схожую с технологией производства обычных бетонных шпал, можно сделать вывод: шпалы, изготовленные из полимербетона RubCon, будут обладать повышенной прочностью, надёжностью, долговечностью в сравнении со всеми существующими шпалами.

В долговременной перспективе это приведёт к удешевлению, т.е. к экономии средств по эксплуатации железнодорожных путей.

### **Литература**

1. Figovsky O. Liquid ebonite mixtures, coatings, and concretes formed there from. Patent USA 6, 303, 68. 1998.
2. Borisov Yu. M., Potapov Yu. B., Pinaev S. A., Savchenko E. N. Building materials of XXI century. 2000. N 9. pp. 9-10.

3. Панфилов Д. В. Дисперсно армированные строительные композиты на основе полибутадиенового олигомера: дис. ... канд. техн. наук. Воронеж, 2004. 207 с.
4. Гошев С.А. Термостойкость строительных материалов и изделий на основе жидких каучуков. Разработка композиционного материала пониженной горючести: дис. ... канд. техн. наук. Воронеж, 2010. 156 с.
5. Борисов Ю.М. и др. Эффективные строительные конструкции на основе композитов специального назначения: учебное пособие. Воронеж. 2014. 88 с.
6. Маилян Л.Р., Маилян А.Л., Айвазян Э.С. Конвейерная технология фибробетона с агрегированным распределением фибр и его конструктивные свойства. Инженерный вестник Дона, 2013, №3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1781](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1781).
7. Страданченко С.Г., Плешко М.С., Армейсков В.Н. Разработка эффективных составов фибробетона для подземного строительства. Инженерный вестник Дона, 2013, №3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/1995](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/1995).
8. Филатов Е.В., Насников Д.Н. Расчет железнодорожного пути на прочность. Методические указания. ИРКУТСК. 2016. 59 с.
9. Figovsky O. & Beilin D. Advanced Polymer Concretes and Compounds. CRC Press 2013. 267 p.
10. Кукин А.С. Неметаллическая композитная арматура. Патент РФ №2482248. 2011.

### References

1. Figovsky O. Liquid ebonite mixtures, coatings, and concretes formed there from. Patent USA 6, 303, 68. 1998.
-



2. Borisov Yu. M., Potapov Yu. B., Pinaev S. A., Savchenko E. N. Building materials of XXI century. 2000. N 9. pp. 9-10.
3. Panfilov D. V. Dispersno armirovannyye stroitel'nye kompozity na osnove polibutadienovogo oligomera [Dispersely reinforced polybutadiene oligomer-based building composites]: dis. ... kand. tehn. nauk. Voronezh, 2004. 207 p.
4. Goshev S.A. Termostojkost' stroitel'nyh materialov i izdelij na osnove zhidkih kauchukov. Razrabotka kompozitsionnogo materiala ponizhennoj gorjuchesti [Heat resistance of building materials and products based on liquid rubbers. Low Flammability Composite Material Development]: dis. ... kand. tehn. nauk. Voronezh, 2010. 156 p.
5. Borisov Ju.M. i dr. Jeffektivnyye stroitel'nye konstrukcii na osnove kompozitov special'nogo naznachenija [Efficient building structures based on special purpose composites]: uchebnoe posobie. Voronezh. 2014. 88 p.
6. Mailjan L.R., Mailjan A.L., Ajvazjan Je.S. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1781](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1781).
7. Stradanchenko S.G., Pleshko M.S., Armejskov V.N. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/1995](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/1995).
8. Filatov E.V., Nasnikov D.N. Raschet zheleznodorozhnogo puti na prochnost'. Metodicheskie ukazaniya. [Calculation of the railway track for strength. Methodical instructions]. IRKUTSK. 2016. 59 p.
9. Figovsky O. & Beilin D. Advanced Polymer Concretes and Compounds. CRC Press 2013. 267 p.
10. Kukin A.S. Nemetallicheskaja kompozitnaja armatura. [Non-metallic composite reinforcement]. Patent RF №2482248. 2011.