

УДК 691.342

## ПОЛИМЕРНЫЕ БЕТОНЫ - ПЕРСПЕКТИВНЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

*Паламарчук А.А., Шишакина О.А., Кочуров Д.В., Аракелян А.Г.*

*Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых (600000, г. Владимир, ул. Горького, 87)*

**Аннотация:** Полимербетон был изобретён в конце 1950-х годов и стал активно использоваться в 1970-х годах. Благодаря своим свойствам, таким как высокая прочность на сжатие, быстрое отверждение, высокая удельная прочность, устойчивость к химическому воздействию, полимербетон нашел применение в самых разных областях. Одновременно этот материал использовался в машиностроении там, где свойство демпфирования вибрации полимербетона были очень ценным. Полимербетон представляет собой композиционный материал, в котором связующим является полимер. Следует подчеркнуть, что полимерным бетоном можно назвать лишь определённые полимерные композиционные материалы, которые по свойствам и применению аналогичны традиционным бетонам на основе портландцемента. Также полимерные бетоны отличаются от других композиционных материалов применяемыми наполнителями. Например, неверным будет отнести к полимерным бетонам композиты, наполненные металлической пылью, древесными опилками, стекловолокном. Вначале полимербетон использовался для строительства, облицовки и т. п. Позднее, благодаря быстрому отверждению, отличному сцеплению с цементным бетоном и стальной арматурой, высокой прочностью и долговечностью, он стал широко использоваться в качестве материала для ремонта бетонных конструкций. Полимерный бетон используется для производства разнообразных продуктов, таких как кислотные резервуары, люки, дренажи и т. д. Свойства полимерного бетона сильно различаются в зависимости от условий приготовления.

**Ключевые слова:** полимер, бетон, полимербетон, портландцемент, композиционные материалы, строительство.

## POLYMERIC CONCRETES - PERSPECTIVE CONSTRUCTION MATERIALS

*Palamarchuk A.A., Shishakina O.A., Kochurov D.V., Arakelyan A.G.*

*Vladimir State University. A.G. and N.G. Stoletovs (600000, Vladimir, Gorky St., 87)*

**Annotation:** Polymer concrete was invented in the late 1950s and was actively used in the 1970s. Due to its properties, such as high compressive strength, fast curing, high specific strength, resistance to chemical attack, polymer concrete has found application in various fields. At the same time, this material was used in mechanical engineering where the vibration damping property of polymer concrete was very valuable. Polymer concrete is a composite material in which the binder is a polymer. It should be emphasized that only certain polymer composite materials can be called polymer concrete, which are similar in properties to traditional concrete based on Portland cement. Also polymer concretes differ from other composite materials by the fillers used. For example, composites filled with metal dust, sawdust, and fiberglass would be incorrectly attributed to polymer concretes. Initially, polymer concrete was used for construction, cladding, etc. Later, thanks to fast curing, excellent adhesion to cement concrete and steel reinforcement, high strength and durability, it became widely used as a material for the repair of concrete structures. Polymer concrete is used to produce a variety of products, such as acid tanks, hatches, drains, etc. The properties of polymer concrete vary greatly depending on the preparation conditions.

**Keywords:** polymer, concrete, polymer concrete, portland cement, composite materials, construction.

Бетон, изготовленный из портландцемента, используется во всем мире как строительный материал более 150 лет. Однако цементный раствор и бетон имеют значительные недостатки, такие, как низкая прочность при изгибе, медленная скорость отверждения, большое трещинообразование при высыхании и низкая химическая стойкость. Для преодоления этих недостатков используют разнообразные добавки. Одним из таких направлений является создание модифицированного полимерами бетона - полимербетона [1].

Полимербетон - это общее название группы бетонов, созданных с целью уменьшения недостатков цементного бетона, в которых минеральное вяжущее частично или полностью заменяется полимерами. Чаще всего под термином полимербетон имеются в виду бетоны на основе полимерных связующих без участия воды. Однако существуют и другие разновидности полимербетона, такие как полимерцементный бетон, пластобетон, бетонополимер [2].

Полимерцементные материалы — большая группа материалов, получаемых на основе двух вяжущих веществ: минерального и полимерного. В качестве минерального вяжущего могут быть использованы гипсовые, магнезиальные и гипсоцементно-пуццолановые вяжущие, но наиболее часто — различные виды цемента. Полимерный компонент вводится непосредственно в тесто минерального вяжущего (бетонную смесь), и их твердение происходит совместно [3].

Пластобетон — разновидность бетона, в котором минеральное вяжущее заменено термореактивными полимерами (эпоксидные, полиэфирные, фенолформальдегидные и др.). Пластобетон изготавливают смешиванием полимерного связующего и наполнителей. Отверждение пластобетонов при нормальной температуре происходит не позднее чем через 24 ч. Пластобетоны имеют высокую прочность и износостойкость, обладают хорошей химической стойкостью и отличной адгезией к другим материалам. Однако пластобетоны характеризуются повышенной деформативностью и невысокой термостойкостью, а их стоимость намного выше стоимости обычного бетона. Пластобетоны эффективно используют для защитных покрытий и конструкций, работающих в условиях химической агрессии, а также ремонта каменных и бетонных элементов зданий и сооружений.

Бетонополимер — представляет собой бетон, пропитанный после затвердевания мономерами или жидкими олигомерами, которые после соответствующей обработки (например, нагревания) переходят в твердые полимеры, заполняющие поры и дефекты бетона. В результате этого резко повышается прочность бетона, его морозостойкость и износостойкость. Бетонополимер практически водонепроницаем. Для получения бетонополимера главным образом применяют стирол и метилметакрилат, полимеризующиеся в бетоне в полистирол и полиметилметакрилат [4].

Одной из разновидностей полимербетонов являются высоконаполненные полимер - керамические смеси. Процесс получения изделий из полимер - керамических смесей включает: получение керамического порошка заданного химического и гранулометрического составов, приготовление композиции, формование изделия, обработка готового композита (шлифовка, полировка). Изделия из высоконаполненных

полимер - керамических смесей имеют различные формы и размеры. Полимер - керамические смеси с содержанием полимерного связующего 10 -20 % (30 - 60 объемных %) и низкой вязкостью расплава должны обеспечивать формование изделий сложной формы при широком интервале рабочих температур и получение бездефектных изделий после формования.

Также помимо бетона, возможна пропитка керамических пористых материалов для увеличения прочности и решения проблемы влагозащиты. Для упрочнения изделий из керамики, используемой в условиях высокотемпературных воздействий с сохранением стабильности диэлектрических свойств, целесообразнее всего использовать термостойкие кремнийорганические полимеры, имеющие достаточно широкий интервал стабильности диэлектрических свойств. В зависимости от назначения изделия и требований, которые к нему предъявляются, используются следующие способы пропитки: полная пропитка; односторонняя пропитка на небольшую глубину (до 1 мм) или на глубину, переменную по высоте. Использование поверхностной пропитки керамических материалов имеет существенные недостатки. К основным недостаткам следует отнести то, что защита материала от влаги обеспечивается присутствием на поверхности керамики достаточно тонкой полимерной пленки, которая может быть легко нарушена даже при незначительном механическом воздействии. В результате этого материал начинает впитывать влагу, что отрицательно сказывается на его радиотехнических свойствах.

### **История создания**

Первый патент на применение полимерцемента был выдан Крессону в 1923 г. Он касается материала для покрытий с природными каучуковыми латексами, при этом запатентованный цемент был использован в качестве основы. Первый патент такой системы, модифицированной полимерным латексом, был опубликован Лефевром в 1924 г. По-видимому, он — первый исследователь, который намеревался создать растворы и бетон, модифицированные латексом, используя природные каучуковые латексы, путём подбора состава при смешивании. В настоящее время продолжаются активные исследования полимербетонов, что подтверждается большим количеством патентов. При этом следует отметить, что интерес к полимербетону проявляют не только отечественные исследователи, (например, патент РФ 2492302 «Строительный элемент здания с декоративным армированным слоем»), но и иностранные специалисты (например, патент U.S. 11/152661 “Fast Drying Wallboard” («Быстроосаждаемая стеновая плита»)), что показывает несомненную актуальность разработки новых составов полимербетонов [5].

Среди стран, которые используют полимербетоны, стандартизация работ по различным методам испытаний и применениям была рассмотрена в основном Японией,

Соединенными Штатами Америки, Великобританией, Германией и Россией. Благодаря своим превосходным свойствам, таким как быстрое отверждение, высокая прочность на сжатие, высокая удельная жесткость и прочность, стойкость к химическим веществам и коррозии, способность образовывать сложные формы, отличные свойства демпфирования вибрации и т. д.

Однако, прежде чем потенциал этих материалов в качестве альтернативного материала может быть полностью использован, должна быть доступна методология оценки долгосрочных свойств. С увеличением использования полимерного бетона, не ограничиваясь областью применения в области гражданского строительства, увеличивается необходимость стандартизации его свойств, которые необходимы для его удовлетворительной работы в разнообразных конструкциях. Поскольку материал должен использоваться для более высоких напряжений и деформаций с чередующимися нагрузками, необходимо иметь достаточные знания об усталостном поведении этого материала.

#### **Технология получения**

Процесс изготовления полимербетона происходит следующим образом. Наполнители предварительно промывают от загрязнений, сушат до влажности не более 1% по массе и разделяют на фракции по размерам. Все компоненты загружают в бетоносмеситель в следующем порядке: наполнитель (в порядке уменьшения фракции), смола и отвердитель. Между загрузками происходит перемешивание в течение 2-3 минут. Более высокая степень однородности смеси может быть достигнута, когда отдельно в скоростном смесителе готовят смесь связующего с мелкодисперсным наполнителем, которую затем перемешивают в бетоносмесителе с предварительно подготовленной крупной фракцией наполнителя [21].

Приготовленный полимербетон подается непосредственно в опалубку или форму, смазанных по внутренней поверхности технический вазелин или машинным маслом. Для уплотнения полимербетона применяют виброплощадки или навесные вибраторы. Уплотнение рекомендуется производить после укладки каждого замеса. Вибрирование прекращают примерно через 2-3 мин при выделении на поверхности полимербетона жидкой фазы [13].

#### **Состав и свойства полимерных бетонов**

В полимерном бетоне в качестве связующих используются термопластичные полимеры, например полиэтилен, полипропилен, поливинилхлорид, но чаще всего применяют термореактивные смолы в качестве основного полимерного компонента из-за их высокой термической стабильности и устойчивости к широкому спектру химических

веществ. Совершенно очевидно, что основным компонентом, который диктует стоимость полимерного бетона, является полимерное связующее, и поэтому были предприняты попытки выяснить минимальное содержание полимера для достижения приемлемой прочности полимерного бетона [12]. Полимерными материалами, которые обычно используются в полимерном бетоне, являются метилметакрилат, полиэфирная смола, эпоксидная смола и фурановые смолы. Выбор конкретного типа смолы зависит от таких факторов, как стоимость, требуемые свойства, требуемая химическая и атмосферная устойчивость. Ненасыщенные полиэфирные смолы являются наиболее часто используемыми смолами для полимербетона из-за их низкой стоимости, легкой доступности и хороших механических свойств. Фурановые смолы отличаются высокой химической устойчивостью и также широко используются в производстве полимербетонов [8], особенно в европейских странах. Метилметакрилат имеет ограниченное применение из-за своей высокой воспламеняемости и специфического запаха, однако он всё-таки используется из-за его хорошей обрабатываемости и низкотемпературной отверждаемости. Эпоксидные смолы предпочтительнее полиэфирных из-за их более высоких механических свойств, а также лучшей долговечности при воздействии суровых факторов окружающей среды, но более высокая стоимость является сдерживающим фактором при их широком распространении. Сравнительное исследование свойств эпоксидных и полиэфирных бетонов показывает, что традиционный эпоксидный бетон обладает лучшими свойствами, чем полиэфирный бетон, но свойства сложного полиэфирного бетона можно повысить до такого же уровня за счет добавления микронаполнителей и силаных связующих веществ [10].

Важной составляющей полимерного бетона являются наполнители, способствующие удешевлению получаемого продукта. Наиболее часто в качестве наполнителей используется доступный в данной местности материал, например песок, галька, известняк, кварц, гранит, мраморная крошка. Активно используются отходы, такие как бой стекла, кирпича, керамики, измельчённые фрагменты бетонных плит, оставшихся после сноса зданий. Также предпринимаются попытки утилизации путём использования в качестве наполнителей отходов гальванического производства, металлургических предприятий, золы тепловых электростанций. Наполнитель должен быть хорошего качества, без пыли и нежелательного мусора, высушенный. Несоблюдение этих критериев может снизить прочность связи между полимерным связующим и наполнителем [11], в то время как использование правильно подготовленного минерального дисперсного наполнителя снижает усадку, повышает прочность, жесткость и огнестойкость [9]. Актуальными также

являются технологии совместной утилизации полимерных и дисперсных минеральных отходов с получением полимербетонов строительного назначения [7].

Обычно наполнители по размеру разделяют на две группы, это крупнозернистые наполнители, содержащие частицы размером более 5 мм и мелкозернистые, имеющие размер менее 5 мм. Сортировка наполнителей в полимерном бетоне до настоящего времени не стандартизирована и широко варьируется в зависимости от производителя [6].

Различают сверхтяжелый ( $3,5-4 \text{ т/м}^3$ ), тяжелый ( $2,2-2,4 \text{ т/м}^3$ ), легкий ( $1,6-1,8 \text{ т/м}^3$ ) и сверхлегкий ( $0,4-0,5 \text{ т/м}^3$ ) полимербетон. Свойства полимербетона определяются типом связующего, видом и фракционным составом наполнителя, соотношением, качеством перемешивания и уплотнения всех компонентов, а также степенью отверждения связующего. Бетон, модифицированный полимером, имеет монолитную структуру, в которой органическая полимерная матрица и матрица цементного геля гомогенизируются. Свойства бетона, модифицированного полимером, определяются такой совместной матрицей. В системах, модифицированных латексом, порошковыми эмульсиями и водорастворимыми полимерами, дренаж воды из этих систем при гидратации цемента приводит к образованию пленки или мембраны. В системах, модифицированных жидкими смолами и мономерами, добавка воды стимулирует гидратацию цемента и полимеризацию жидких смол или мономеров [14].

В зависимости от области применения к полимербетонам предъявляются специфические требования. Например, декоративно-отделочные материалы (плиты, подоконные доски, лестничные марши и т. д.) должны обладать привлекательным внешним видом, а по твердости и износостойкости не должны уступать природным горным породам (мрамор, оникс, высококачественные граниты и др.). Эти требования относятся и к высоконаполненным композитам, используемым для производства санитарно-технического оборудования (раковины, унитазы, ванны и др.) [15].

Требования, предъявляемые к полимербетонам, достаточно разнообразны, для теплоизоляционных композиционных материалов основной показатель - плотность и теплопроводность, на предприятиях с воздействием агрессивных сред важнейшей характеристикой является их химическая стойкость. Благодаря своим высоким прочностным характеристикам, большой сопротивляемости напряжению при изгибе, прочности на растяжение, полимербетон можно использовать без какой бы то ни было арматуры. Тем не менее, имеются области применения, когда высоконаполненный композит армируется, чтобы обеспечить повышение прочностных характеристик или повышенную надёжность [16].

Принципиально полимербетон можно армировать таким же образом, как и бетон на цементном вяжущем. Наиболее часто для армирования используются сталь или стекловолокно. Прочие волокна, например, углеволокно из-за высокой стоимости применяют только в отдельных случаях [17].

Точные свойства зависят от полимера, используемого наполнителя, соотношения между ними и т. д. Но общие закономерности таковы:

1. Полимерное связующее более дорогое, чем портландцемент
2. Значительно большая прочность на растяжение, чем неармированный портландбетон (поскольку пластик «более липкий», чем цемент, и имеет высокую прочность на растяжение).
3. Аналогичная или большая прочность на сжатие по сравнению с портландцементом.
4. Значительно большая скорость отверждения.
5. Хорошая адгезия к большинству поверхностей, в том числе к металлам
6. Хорошая долговечность при большом количестве циклов замораживания и оттаивания.
7. Низкая проницаемость для воды и агрессивных растворов.
8. Хорошая химическая стойкость.
9. Хорошая устойчивость к коррозии.
10. Меньшая плотность (немного менее плотный, чем традиционный бетон, в зависимости от содержания смолы в смеси).
11. Может быть вибрирован для заполнения пустот в формах.
12. Высокие диэлектрические свойства [18].

### **Области применения**

Полимерный бетон может использоваться для нового строительства или ремонта старых бетонных конструкций. Адгезионные свойства полимерного бетона позволяют восстанавливать как полимерные, так и обычные бетоны на цементной основе. Низкая проницаемость и коррозионная стойкость полимербетона позволяют использовать его в плавательных бассейнах, системах канализации, дренажных каналах, электролизерах для извлечения металла и других конструкциях, содержащих жидкости или коррозионные химикаты. Он особенно подходит для строительства и восстановления колодцев из-за способности противостоять токсичным и коррозионным канализационным газам и бактериям, обычно встречающимся в канализационных системах. В отличие от традиционных бетонных конструкций полимерный бетон не требует покрытия или сварки защищенных ПВХ швов [20]. Полимербетон часто называют «искусственным камнем» из-

за его прочности и внешнего сходства. Полимербетон применяют как конструкционный химически - и износостойкий, электроизолирующий материал, например, для герметизации резервуаров, шпатлёвки, грунтовки, при изготовлении наливных полов, для выравнивания неровностей и дефектов в металлических изделиях, в производстве мебели, плит для полов производств, помещений, труб для водостока. Высокая химическая стойкость, прочность, износостойкость и водонепроницаемость позволяют надеяться на более широкое использование полимербетона при производстве разнообразных строительных конструкций [4, 19].

В заключение хочется отметить, что основным фактором, сдерживающим активное распространение полимерных бетонов, является их более высокая по сравнению с традиционными строительными материалами стоимость.

### **Список литературы**

1. К.Н. Попов. Полимерные и полимерцементные бетоны, растворы и мастики. - Москва: Высшая школа, 1987. 40 с.
2. В.Е. Байер. Архитектурное материаловедение: учебник для студентов вузов - Москва: Архитектура, 2012. 234 с.
3. А.Г. Домокеев. Строительные материалы: учебник для строительных вузов, 2-е издание переработанное и дополненное - Москва: Высшая школа, 1989. 495 с.
4. Колосова А.С., Сокольская М.К., Виткалова И.А., Торлова А.С., Пикалов Е.С. Современные полимерные композиционные материалы и их применение // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2018. № 5. С. 245-256. – URL: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=12252> (дата обращения 20.11.2018)
5. А.Г. Комар. Строительные материалы и изделия: Учебник для инженерно-экономических специальностей строительных вузов, 5-е издание, переработанное и дополненное - Москва: Высшая школа, 1988. 527 с.
6. В.С. Рамачандран Добавки в бетон. Справочное пособие. Перевод с английского Т.И. Розенберг и С.А. Болдырева. - Москва: Стройиздат, 1988. 286 с.
7. Шахова В.Н., Воробьева А.А., Виткалова И.А., Торлова А.С., Пикалов Е.С. Современные технологии переработки полимерных отходов и проблемы их использования // Современные наукоемкие технологии. 2016. № 11-2. С. 320-325. – URL: <https://top-technologies.ru/ru/article/view?id=36408> (дата обращения 20.11.2018)
8. Сокольская М.К., Колосова А.С., Виткалова И.А., Торлова А.С., Пикалов Е.С. Связующие для получения современных полимерных композиционных материалов //



Фундаментальные исследования. 2017. №10-2. С. 290-295. – URL: <http://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=41827> (дата обращения 20.11.2018)

9. Колосова А.С., Сокольская М.К., Виткалова И.А., Торлова А.С., Пикалов Е.С. Наполнители для модификации современных полимерных композиционных материалов // Фундаментальные исследования. 2017. №10-3. С. 459-465. – URL: <http://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=41858> (дата обращения 20.11.2018)

10. Ю.П. Панибратов, Ю.М. Тихонов, Ю.Г. Мещеряков. Архитектурное материаловедение: Учебник для студентов учреждений высшего профессионального образования - Москва: Академия, 2012. 288 с.

11. Чухланов В.Ю., Алексеенко А.Н. ПРИМЕНЕНИЕ СИНТАКТНЫХ ПЕНОПЛАСТОВ С КРЕМНИЙОРГАНИЧЕСКИМИ СВЯЗУЮЩИМИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ // Строительные материалы. 2001. № 6. С. 26-27.

12. Чухланов В.Ю., Усачева Ю.В., Селиванов О.Г., Ширкин Л.А. НОВЫЕ ЛАКОКРАСОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПИПЕРИЛЕНСТИРОЛЬНЫХ СВЯЗУЮЩИХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГАЛЬВАНОШЛАМА В КАЧЕСТВЕ НАПОЛНИТЕЛЯ // Лакокрасочные материалы и их применение. 2012. № 12. С. 52-55.

13. R. Bedi, R. Chandra, S. P. Singh Reviewing some properties of polymer concrete // Indian Concrete Journal. 2014. №8. С. 47-68

14. R. Bedi, R. Chandra, S. P. Singh Mechanical Properties of Polymer Concrete // Journal of Composites. 2013. №11. С. 1-12

15. M. Barbuta, M. Harja, I. Baran Comparison of mechanical properties for polymer concrete with different types of filler // Journal of Materials in Civil Engineering. 2010. №7. С. 696–701,

16. M. Haidar, E. Ghorbel, H. Toutanji Optimization of the formulation of micro-polymer concretes // Construction and Building Materials. 2011. №4. С. 1632–1644

17. J.D. Suh, D.G. Lee, Design and manufacture of hybrid polymer concrete bed for high-speed CNC milling machine // International Journal of Mechanics and Materials in Design. 2008. №2. С. 113–121

18. M. Barbuta, D. Lepadatu Mechanical characteristics investigation of polymer concrete using mixture design of experiments and response surface method // Journal of Applied Sciences. 2008. №12. С. 2242–2249

19. P. Xu, Y.H. Yu Research on steel-fibber polymer concrete machine tool structure // Journal of Coal Science and Engineering. 2008. №4 С. 689–692

20. W. Bai, J. Zhang, P. Yan, X. Wang Study on vibration alleviating properties of glass fiber reinforced polymer concrete through orthogonal tests // *Materials & Design*. 2009. №4 C. 1417–1421

21. B.W. Jo, S.K. Park, D.K. Kim Mechanical properties of nano-MMT reinforced polymer composite and polymer concrete // *Construction and Building Materials*. 2008. №1. C.14–20.