



Research Article

Received: June 30, 2023

Accepted: July 28, 2023

Published: August 4, 2023

ISSN 2658–5553

Water-permeable polymer concrete pavement for streets and sidewalks

Masenene, Aleksandra Ruslanovna¹ Vatin, Nikolai Ivanovich^{1*} Masenis, Aleksandra Aleksandrovna²

¹ Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, St.Petersburg, Russian Federation; masyonene.ar@gmail.com (M.A.R.); vatin@mail.ru (V.N.I.)

² Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, Institute of Secondary Vocational Education St.Petersburg, Russian Federation; alexo2012@icloud.com

Correspondence:* email masyonene.ar@gmail.com; contact phone [+79112770150](tel:+79112770150)

Keywords:

Concretes; Ultimax Gravity; Polymer concrete; Pedestrian infrastructures; Sustainable infrastructures; Polymer-modified concrete; Water-permeable concrete

Abstract:

The object of research is a moisture-permeable polymer concrete based on Ultimax Gravity binder. This work aims to develop a polymer concrete composition with the required moisture permeability based on the Ultimax Gravity polymer binder. **Method.** The method of absolute volumes was used to select the polymer concrete composition with the required moisture permeability. **Results.** The types and characteristics of polymer concrete are described. A comparative analysis of polymer concrete, traditional concrete, and asphalt concrete characteristics has been conducted. Modern studies related to the development of the composition of polymer concrete are analyzed. The composition of polymer concrete with the required moisture permeability based on the Ultimax Gravity polymer binder has been developed. Promising research areas have been identified to improve the characteristics of polymer concrete composition based on Ultimax Gravity binder.

1 Introduction

Ячеистый водопроницаемый полимербетон и пластобетон применяют при строительстве гидротехнических сооружений, к которым предъявляются чрезвычайно жесткие требования по эксплуатации в условиях постоянного воздействия воды и особые требования по водонепроницаемости, морозостойкости, прочности и долговечности. Хорошо зарекомендовали себя антикавитационные покрытия на основе полимербетона для водосбросных колодцев ГЭС.

Одним из видов инновационных полимеров, применяемых в строительстве, является Ultimax Gravity это полимерное вяжущее отечественного производства на основе полиуретана для щебня, камня, гравия, кварцевого песка и других заполнителей для создания пористого полимербетона с высокой влагонепроницаемостью. Ultimax Gravity производится ООО «Дмитриевский химический завод - Производство» в городе Кинешма Ивановской области Российской Федерации.

В данной статье рассматривается использование Ultimax Gravity для разработки полимербетонной композиции с требуемой влагонепроницаемостью.

Рассмотрены виды и характеристики полимербетона и пластобетона.

Проведен сравнительный анализ характеристик полимербетона, традиционного бетона и асфальтобетона. Проанализированы исследования в области полимербетона, что позволило сделать соответствующие выводы.

Masenene, A.; Vatin, N.; Masenis, A.

Water-permeable polymer concrete pavement for streets and sidewalks; 2023; *AlfaBuild*; 29 Article No 2903. doi: 10.57728/ALF.29.3



Обзор исследований.

В статье [1] рассмотрен потенциал применения неорганических полимеров («геополимеров») как элемента, способствующего развитию устойчивой бетонной промышленности. Эти материалы представляют собой активированные щелочью алюмосиликаты с гораздо более низкими выбросами CO₂, чем традиционные портландцементы, и обладают повышенной прочностью и химической стойкостью, а также рядом других потенциально ценных характеристик. Взаимосвязь между выбросами CO₂ и составом по сравнению с портландцементом была определена количественно.

В статье [2] рассматривается явление самозалечивания бетона, наблюдаемое в традиционных волокнистых самоуплотняющихся бетонах. Это явление происходит из-за наличия негидратированных частиц цемента в присутствии избыточной воды. Для оценки процесса заживления использовались ультразвуковые измерения. Результаты показали, что явление самовосстановления существует в полимермодифицированном бетоне, как и в традиционном бетоне. Повышение количества полимера увеличивает степень заживления при одинаковом времени заживления. Это увеличение зависит от типа полимера. Кроме того, увеличение возраста повреждения снижает эффективность процесса самовосстановления бетона.

Цель исследования [3] состояла в том, чтобы решить некоторые проблемы с твердыми отходами, образующимися при разрушении пластмасс и бетона. Оценены механические свойства полимербетона; в частности, полимербетона из ненасыщенных полиэфирных смол из переработанных пластиковых отходов полиэтилентерефталата (ПЭТФ) и переработанных заполнителей бетона.

В статье [4] обобщены классификация добавок на полимерной основе, принципы модификации полимеров с использованием полимерных латексов, редиспергируемых полимерных порошков, водорастворимых полимеров и жидких полимеров, а также свойства и области применения полимер-модифицированных строительных растворов и бетонов, недавние исследования. и деятельность по развитию, а также работа по стандартизации.

В обзоре [5] рассмотрены достижения в разработке бетоно-полимерных композитов, которые подразделяются на три типа: полимерно-модифицированный (или цементный) раствор (ПМР) и бетон (ПМБ), полимерный раствор (ПР) и бетон (ПБ), полимерно-пропитанный раствор (ППР) и бетон (ППБ).

В статье [6] исследуется водопроницаемый бетон, который все чаще используется для уменьшения количества сточных вод и улучшения качества воды вблизи тротуаров и парковок. Однако из-за значительно сниженной прочности, связанной с высокой пористостью, проницаемые бетонные смеси в настоящее время не могут быть использованы в конструкциях дорожного покрытия. В данном исследовании проводился лабораторный эксперимент по улучшению прочностных свойств проницаемого бетона за счет включения латексного полимера.

Цель исследования [7] заключалась в разработке пористого бетона с приемлемой водопроницаемостью и прочностью с использованием переработанного заполнителя из дробленых отходов бетона. Для приготовления ячеистых бетонов использовали оптимальные пропорции смеси с использованием обычных и вторичных заполнителей. Использование переработанного заполнителя вместе с оптимальным содержанием полимера позволяет получить приемлемый пористый бетон с достаточными дренажными и прочностными характеристиками.

В работе [8] исследуются механические характеристики эпоксидно-полимерного бетона, армированного натуральными волокнами, для анализа возможности замещения ими синтетических волокон. Проведено сравнение эпоксидно-полимерного бетона, армированного натуральными волокнами, неармированного и армированного синтетическими волокнами. Дано краткое описание производства натуральных волокон и процесса изготовления полимербетона.

В статье [9] рассмотрен проницаемый бетон, который используется в покрытиях, подверженных интенсивному движению и в северных регионах. В этом исследовании исследуются прочность, вязкость и усталостная деформация двух типов проницаемого бетона: проницаемого бетона, модифицированного дополнительным связующим (SCM), и проницаемого бетона, модифицированного полимерами (PPC). Как для SPC, так и для PPC пористость значительно влияет на прочность на сжатие, но незначительно влияет на скорость набора прочности. Прочность проницаемого бетона на изгиб более чувствительна к пористости, чем к прочности на сжатие. Проницаемый бетон имеет более значительный размерный эффект, чем



обычный бетон. PPC демонстрирует гораздо более высокую вязкость разрушения и гораздо более длительный усталостный срок службы, чем SPC, при любом уровне напряжения.

В статье [10] рассматривается проницаемый бетон, который считается оптимальным материалом для управления ливневыми стоками в застроенных районах, а также для обеспечения ряда других экологических преимуществ. В исследовании тестировались четыре полимера, и первый этап исследования включал предварительные анализы цементных растворов и растворов, модифицированных полимерами; затем готовили модифицированные полимерами водонепроницаемые бетонные смеси и дополнительно оценивали включение полимеров в зависимости от типа и содержания. Результаты показали замедленное отверждение полимер-модифицированных смесей, а также повышенную механическую прочность и стойкость к расслаиванию и циклам замораживания–оттаивания. Наилучший результат дал поливинилацетатный полимер.

Работа [11] представляет собой исследование долговечности геополлимерного бетона, приготовленного с использованием смешанной пылевидной золы уноса (PFA) и топливной золы пальмового масла (POFA) совместно со щелочными активаторами при воздействии 2% раствора серной кислоты в течение 18 месяцев. Характеристики геополлимерного бетона при воздействии 2% раствора серной кислоты более года были лучше, чем у OPC–бетона, благодаря более стабильной структуре сшитого алюмосиликатного полимера, образующегося в геополлимерном бетоне.

В статье [12] представлены технические свойства неорганических полимербетонов (IPC) с пределом прочности при сжатии 50 МПа. Исследование включает определение модуля упругости, коэффициента Пуассона, прочности на сжатие, а также прочности на растяжение и изгиб, составленные с использованием трех различных источников летучей золы класса f. Результаты показывают, что в большинстве случаев технические свойства IPC лучше.

Целью исследования [13] была оценка возможности использования отработанного минерального порошка (остающегося после приготовления заполнителей для минерально–асфальтовых композитов) в качестве компонента полимербетона с использованием винилэфирной смолы в качестве вяжущего. На основании полученных данных автор определил оптимальные составы бетонов с винилэфирной смолой и отработанным минеральным порошком, технические свойства которых находятся на уровне обычных (не модифицированных), но в то же время экологичны.

В работе [14] представлены экспериментальные исследования влияния использования морского песка на свойства полимербетона, модифицированного эпоксидной смолой. Физические свойства, включая удобоукладываемость, механические свойства и свойства долговечности, оцениваются в зависимости от замещения морского песка. Полученные результаты служат убедительным доказательством целесообразности использования морского песка в качестве мелкого заполнителя для решения проблемы, связанной с истощением природных заполнителей при использовании в сочетании с эпоксидным полимером.

В работе [15] рассматривается вопрос о том, является ли разброс прочности бетона на сжатие по толщине горизонтально отлитых элементов пренебрежимо малым или его необходимо учитывать на этапе проектирования? По результатам был сделан вывод, что небольшое увеличение прочности бетона на сжатие с глубиной ниже верхней поверхности является естественным явлением и не требует учета при оценке прочности бетона в конструкции.

В статье [16] исследовано поведение полимербетона на сжатие и растяжение. Серия испытаний, проведенных на образцах полимербетона (ПК) с различным количеством эпоксидной смолы для изучения влияния содержания эпоксидной смолы на поведение ПК. Для прогнозирования такого поведения использовалась концепция возмущенного состояния (DSC). Пришли к выводу, что среди прочего, концепция DSC имеет самую высокую точность.

В статье [17] исследуется разрушение бетона в местах, подверженных воздействию сульфатных солей, хлоридов, а движение грунтовых вод является серьезной проблемой. В этом исследовании полимербетон был изготовлен путем испытания четырех смесей с использованием заполнителей разного размера с эпоксидным клеем, а две смеси были армированы полипропиленовыми волокнами (0.5 и 1)% по весу эпоксидной смолы в дополнение к эталонной смеси, состоящей из цемента и песка. Наибольшую прочность на сжатие, электрическое сопротивление, скорость ультразвукового импульса и нулевую пористость для смеси имели максимальные размеры песка менее шестисот микрон и более 150 микрон, где скорость увеличения (272.9, 635.9, 45.9 и 57.7) % соответственно по сравнению с эталонной смеси.

Masenene, A.; Vatin, N.; Masenis, A.

Water-permeable polymer concrete pavement for streets and sidewalks; 2023; *AlfaBuild*; 29 Article No 2903. doi: 10.57728/ALF.29.3



Результаты также показали, что наибольшую прочность на изгиб имела смесь, армированная 1% полипропиленовым волокном.

В работе [18] представлено влияние карбонизации на свойства водонепроницаемых бетонов, модифицированных гашеной известью. Кроме того, была исследована способность смесей поглощать CO₂ (СОАС) для более подробного объяснения результатов. Результаты показали значительное увеличение механических свойств бетона в начальный период отверждения CO₂.

В статье [19] изучались водонепроницаемые бетонные смеси, содержащие бутадиен–стирольный каучук (БСК) в различных пропорциях (0; 5; 8 % массы цемента) с двумя соотношениями вода/цемент (0.30 и 0.35). Исследовано влияние этих пропорций БСК на физико–механические свойства смесей. Этими свойствами являются прочность на сжатие, плотность, расход воды, скорость ультразвукового импульса (UPV) и модуль разрыва. В результате выявлен положительный эффект от применения водонепроницаемых бетонов, содержащих различные пропорции полимера, по сравнению со смесями без полимера. Тест инфракрасной спектроскопии с преобразованием Фурье (FTIR) также использовался для демонстрации влияния полимера на структуру строительного раствора.

В работе [20] исследуется влияние трех типов полимерных модификаторов, используемых в бетоне (латекс стирол–бутадиенового каучука, эмульсия полиакрилового эфира и гидроизоляционный агент на основе органического кремния) на прочность при сжатии, капиллярное водопоглощение и проницаемость бетона для ионов хлорида. Результаты показали, что введение полимерного модификатора снижает прочность на сжатие, а летучая зола (FA) может уменьшить этот неблагоприятный эффект. Все три полимерных модификатора могут значительно снизить водонепроницаемость бетона, причем эффект более значителен при высоком водо–вяжущем отношении.

В статье [21] авторами описывается экспериментальное изучение влияния типа полимера, дозировки полимера, дозировки бетона на единицу объема и содержания воды на прочность на сжатие и коэффициент проницаемости полимерпроницаемого цементного бетона. Результаты показывают, что добавление полимера может улучшить прочность на сжатие проницаемого бетона и оказать меньшее влияние на коэффициент проницаемости. Между тем, прочность на сжатие полимерпроницаемого бетона увеличивается с возрастом, а коэффициент проницаемости имеет тенденцию быть стабильным с изменением возраста.

Приведенные исследования показывают перспективность и актуальность исследований направленных на разработку составов полимербетонов со специальными свойствами.

В основном используются полимербетоны с высокой водостойкостью. Однако в некоторых отраслях промышленности требуется использование бетонов с высокой влагонепроницаемостью. Эти бетоны имеют повышенную пористость и содержат крупный заполнитель. Несмотря на востребованность, систематических исследований таких полимербетонов до сих пор не проводилось. Механизм образования полимерцементных бетонов и физико–химические явления, происходящие при этом процессе, очень сложны и малоизучены. Приготовление полимербетона не имеет определенного рецепта с точными пропорциями. Таким образом, разработка состава полимербетона с требуемой влагонепроницаемостью является актуальной.

Целью данной работы является анализ влагонепроницаемости полимербетона в зависимости от состава используемого полимера, вида наполнителя и способа приготовления, а также разработка состава полимербетона с необходимой влагонепроницаемостью на основе полимерного вяжущего Ultimax Gravity.

Были поставлены следующие задачи:

Рассмотреть виды и характеристики полимербетона и пластобетона.

Провести сравнительный анализ характеристик полимербетона, традиционного бетона и асфальтобетона.

Проанализировать научные исследования в области полимербетона.

Разработать состав композиционной смеси полимербетона с повышенной влагонепроницаемостью на основе связующего Ultimax Gravity.

Сделать соответствующие выводы.



2 Materials and Methods

Полимербетон и пластобетон широко применяются в гидротехническом, дорожном строительстве, а также для создания декоративных элементов при благоустройстве придомовых территорий.

Свойства материала зависят от состава используемого полимера, вида наполнителя и способа приготовления.

Состав полимерцементного бетона подбирают по методу абсолютных объемов. Метод основан на предположении, что объем плотно уложенной бетонной смеси равен сумме абсолютных объемов входящих в нее материалов. То есть 1 м³ хорошо уплотненной бетонной смеси должен быть равен 1000 л (1):

$$\frac{C}{\rho_c} + \frac{W}{\rho_w} + \frac{S}{\rho_s} + \frac{G}{\rho_g} = 1000, \quad (1)$$

Где C , W , S , G – расход цемента, воды, песка, щебня соответственно, в кг/м³;

ρ – их плотности соответственно в кг/л;

1000 – объем бетона в л.

Сначала подбирается объем крупного заполнителя (щебня, гравия), по формуле (2):

$$\frac{C}{\rho_c} + \frac{W}{\rho_w} + \frac{S}{\rho_s} = \frac{G}{\rho_g} \cdot V_G \cdot \alpha, \quad (2)$$

где V_G – межзерновая пустотность крупного заполнителя, % (определяют по формуле 3);

α – коэффициент раздвижки зерен крупного заполнителя

$$V_G = 1 - \frac{\rho_{BG}}{\rho_G}, \quad (3)$$

где ρ_{BG} – насыпная плотность щебня (гравия), кг/м³.

Уравнения (2) и (3) решаются совместно, в результате получаем формулу для определения расхода крупного заполнителя (4):

$$G = \frac{1000}{\left[V_G \cdot \frac{\alpha}{\rho_{BG}} + \frac{1}{\rho_G} \right]}, \quad (4)$$

Затем рассчитывается объем микронаполнителя (песок или молотая порода), который равен площади пустот заполнителя + 10 %, по формуле (5):

$$S = \left[1000 - \left(\frac{C}{\rho_c} + \frac{W}{\rho_w} + \frac{G}{\rho_g} \right) \right] \cdot \rho_s, \quad (5)$$

Полученный состав бетона называется номинальным (лабораторным).

Расчет ведется в следующей последовательности.

Расчетным путем определяется значение цементно-водного фактора Ц/В (C/W) и водоцементного В/Ц (W/C) из формул (6) и (7):

$$R_B = A \cdot R_C \cdot \left(\frac{C}{W} - 0.5 \right), \quad (6)$$

для бетонов с Ц/В < 2.5 (В/Ц > 0.4)

$$R_B = A_1 \cdot R_C \cdot \left(\frac{C}{W} + 0.5 \right), \quad (7)$$

для бетонов с Ц/В > 2.5 (В/Ц < 0.4)



где R_B – марка бетона; R_C – активность цемента; A , A_1 – коэффициенты качества заполнителей.

На основании полученных результатов производят расчет количества полимеров (смола) с учетом заданной влажности раствора.

Подобранный состав проверяют опытным путем.

Метод подробно описан в источниках [24], [25].

Рассмотрим виды полимербетонов, наполнителей и вяжущих для создания композиций с заданными свойствами.

Виды полимербетонов.

Полимербетоны – строительные материалы, получаемые из минерального вяжущего и полимера, а также с заполнителем или без него. В полимербетоне в структурообразовании участвуют высокомолекулярные компоненты, в результате чего получается новый материал с особыми свойствами [25].

Различают полимербетон и пластобетон.

Полимербетон – строительный материал на основе минерального вяжущего (цемента), прошедшего дополнительную обработку (пропитку) полимерами.

Полимерцементобетон представляет собой композицию компонентов, применяемую для устройства износостойких полов в производственных зданиях, ремонта аэродромных и дорожных покрытий, а также в качестве защитной облицовки резервуаров и коммуникаций.

Заполнителями для полимерцементных материалов служат дробленый или кварцевый песок, щебень крупностью не более 20 мм.

Пластобетон представляет собой состав на основе терморезактивных и эпоксидных смол, без использования цемента.

Полимерный бетон отличается от других тем, что готовый застывший блок пропитан мономерами.

В зависимости от применяемого минерального вяжущего различают полимерцементные, полимергипсовые и полимермагнезиальные бетоны.

К природным полимерам относятся натуральный каучук (латекс), битум, асфальт и смола, белки (казеин), углеводы (крахмал, декстрин, альгиновая кислота) и производные целлюлозы.

К пластическим бетонам относятся асфальтобетон и органоминеральный бетон.

Различают следующие виды полимербетона:

Наполненный – количество связующего в композите находится в пределах 20–50%. Смола плотно заполняет все пустоты между наполнителем и наполнителем.

Каркас – имеет пористую структуру, так как в этом случае полимер добавляется только для закрепления каркаса наполнителя в структуре материала. Объем смолы не должен превышать 6% от общего состава компонентов.

Виды наполнителей для полимербетона.

При изготовлении декоративного полимерного раствора или полимербетона с особыми свойствами особое внимание следует уделить выбору наполнителей.

В качестве крупных заполнителей используются:

- мраморная крошка
- щебень гранитный
- гравий
- кварцевая крошка
- гранулированный вермикулит
- базальт
- кальциты
- расширенный перлит
- доломит и др.

В качестве мелкодисперсного наполнителя обычно выступает:

- кварцевый порошок
- дробленый гранит
- зола уноса
- графитовый порошок
- опилки
- песчаник дробленый



Широкий выбор вяжущих, заполнителей и наполнителей, возможность армирования, позволяют получать полимербетоны различной формы с различными физико–химическими характеристиками для использования в промышленности, строительстве, сельском хозяйстве и быту, в качестве теплоизоляции, ограждения или декоративной отделки изделий и высоконагруженных несущих конструкций.

Полимербетоны, применяемые в жилищном и гражданском строительстве, должны в первую очередь обладать высокими декоративно–эстетическими качествами, атмосферостойкостью, стойкостью к истиранию и в значительно меньшей степени высокой стойкостью к растворам кислот и другим агрессивным продуктам, характерным для промышленных предприятий.

Важно иметь в виду, что полимербетон или полимерный раствор ведет себя как камень при увеличении содержания заполнителей и, наоборот, больше похож на пластик при наличии в его составе значительных количеств вяжущих материалов. Такие свойства, как, например, высокая прочность на сжатие, устойчивость к деформации требуют значительного количества заполнителя. Высокая прочность на изгиб и растяжение, ударная вязкость обеспечивается за счет высокого содержания связующего.

Кроме того, полимербетон широко применяется при строительстве гидротехнических сооружений, к которым предъявляются чрезвычайно жесткие требования по эксплуатации в условиях постоянного воздействия воды и особые требования по водонепроницаемости, морозостойкости, прочности и долговечности. Хорошо зарекомендовали себя антикавитационные покрытия на основе полимербетона для водосбросных колодцев ГЭС.

Виды вяжущего для полимербетонов.

Полимербетоны создаются на основе полиэфирных смол, выполняющих связующую функцию. Эти смолы включают:

- Поливинил
- Фенолформальдегидная смола
- Поливинилацетат и метилметакрилат
- Эпоксидная смола
- Полиуретан
- Акрил
- Фурфуроацетоновая смола (ФАМ)
- Мочевиноформальдегидная и полиэфирная матрица

Эпоксидные смолы практически не имеют запаха. Они обеспечивают максимальную прочность материала, но придают бетону хрупкость.

Метилметакрилатные смолы имеют резкий запах, который испаряется после полимеризации. Бетоны с этим связующим быстро схватываются, но уязвимы для химического воздействия.

В состав железосодержащих полимеров входят канцерогенные вещества с очень ядовитым запахом.

Для жилых и общественных зданий рекомендуется использовать материалы, в состав которых входят эпоксидные, полиэфирные и метакрилатные смолы, но наиболее удобными в работе, считают полиуретановые смолы. Кроме того, в смесь полиуретанбетонов добавляют минеральные заполнители из песка или щебня, а также специальные пластификаторы и отвердители.

Добавление в полимербетон золы–уноса или шлака позволяет придать материалу прочность, а при добавлении жидкого стекла обеспечивает защиту от сырости и влаги.

Критерием выбора того или иного материала является стоимость, а также требования к полимербетону по плотности, прочности при деформации, химической стойкости и ряду других характеристик.

3 Results and Discussion

Одним из видов инновационных полимеров, применяемых в строительстве и ландшафтном дизайне для создания садовых, парковых и ландшафтных дорожек, детских площадок, общественных зон, площадок для размещения каркасных и надувных бассейнов, парковок, тротуаров и велодорожек, является Ultimax Gravity.

Полимерное вяжущее Ultimax Gravity для щебня, камня, гравия, кварцевого песка и других невпитывающих минеральных заполнителей. Процесс полимеризации проходит в условиях

Masenene, A.; Vatin, N.; Masenis, A.

Water-permeable polymer concrete pavement for streets and sidewalks;

2023; *AlfaBuild*; 29 Article No 2903. doi: 10.57728/ALF.29.3



естественной влажности. Затвердевший композиционный материал приобретает высокую прочность на сжатие и растяжение, стойкость к внешним воздействиям окружающей среды, морозостойкость. Ultimax Gravity обладает достаточной воздухо- и газопроницаемостью, отличными дренажными свойствами, что позволяет избежать застоя влаги на поверхности дорожного покрытия. Ultimax Gravity — благодаря своей пластичности после полного затвердевания не подвержен разрушению при низких температурах или замерзании воды, выдерживает прямые физические нагрузки и не трескается. Ultimax Gravity – после полной полимеризации полностью экологически чистый и безопасный материал, не растворяющийся в воде. Идеально подходит для создания водоотводящей пешеходной и велосети, украшения водоемов и детских площадок. Не имеет вредных испарений в жаркую погоду, в отличие от битумных вяжущих.

Технические характеристики полимербетонов:

- Плотность до 3000 кг/м³
- Сопротивление сжатию 50–110 Мпа
- Сопротивление изгибу 3–11 МПа
- Диапазон рабочих температур от –60 до +140 С
- Морозостойкость 300–500 циклов
- Теплопроводность 0.05–0.85 Вт/м·К
- Стойкость к истиранию 0.02–0.03 г на см²
- Упругость 10000–40000 МПа
- Коэффициент водопоглощения 0.05–0.5%
- Высокая прочность от 35–6 до 120–160 Мпа
- Химическая стойкость (таб. 1).

Таблица 1. Химическая стойкость полимербетона
Table 1. Chemical resistance of polymer concrete

Химическое вещество	Коэффициент химической стойкости КХС, % при 200 °С в агрессивных средах (норма)	Коэффициент химической стойкости КХС, % при 200 °С в агрессивных средах (результаты испытаний)
Азотная кислота 3%	не менее 0.5	0.6
Соляная кислота 5%	не менее 0.8	0.81
Лимонная кислота 10%	не менее 0.8	0.93
Водный раствор аммиака 10%	не менее 0.6	0.65
Насыщенный кальций	не менее 0.8	0.87

Следующие показатели характеризуют воздействие воды на полимерцементные бетоны:

1. Водопоглощение.
2. Водонепроницаемость.
3. Коэффициент размягчения — отношение прочности смоченного полимерцементного образца к прочности сухого образца.

В основном используются полимербетоны с высокой водостойкостью. Однако в некоторых отраслях промышленности требуется использование бетонов с высокой влагопроницаемостью. Эти бетоны имеют повышенную пористость и содержат крупный заполнитель. Приготовление полимербетона не имеет определенного рецепта с точными пропорциями. Таким образом, разработка состава полимербетона с требуемой влагопропускной способностью является значимой для создания водоотводящих тротуарных и велосипедных дорожек, формирования пешеходных и веломагистральных сетей для повышения комфортности использования и благоустройства ландшафтно-парковых и жилых зон.

Испытания образцов полимербетонов с вяжущим Ultimax Gravity на водонасыщение показали результаты, приведенные в таб. 2.

Таблица 2. Водонасыщение (результаты испытаний)
Table 2. Water saturation (test results)

Наполнитель	Водонасыщение W, % (результаты испытаний)
Гранит серый, фракция 1/3мм	1.4–1.8



Гранит серый, фракция 2/5мм	1.9–2.3
Щебень коричневый, фракция 3/5мм	1.6–2.0
Щебень, фракция 5/20мм	1.6–2.3
Гранитная крошка, фракция 5/8мм	1.5–1.9

Сравнительные характеристики асфальтобетона, обычного бетона и полимербетона с использованием в качестве связующего Ultimax Gravity приведены в таб. 3.

Таблица 3. Сравнительные характеристики асфальтобетонного покрытия и покрытия с использованием Ultimax Gravity Polymer

Table 3. Comparative characteristics of asphalt concrete pavement and pavement using Ultimax Gravity Polymer

Показатель	Ultimax Gravity	Обычный бетон марки М 500	Асфальто–бетонная смесь
Давление	20 МПа	52.5 МПа	3.5 МПа
Предел прочности	3.5 МПа	5 МПа	0.35 МПа
Стираемость	0.29	–	0.7 – 1.0
Усталостная прочность	5.81 МПа	4.4 МПа	1.8 МПа
Колея (начало образования)	>20.000 циклов	–	740 циклов
Колея (глубина, мм)	0.5	–	мин. 0.8
Долговечность (количество циклов до растрескивания)	93 млн для скорости 72 км/ч; 68 млн. Для скорости 16 км/ч	–	14 млн для скорости 72 км/ч; 5.2 млн. для скорости 16 км/ч
Коэффициент сдвига	1.33	0.2	0.15
Морозостойкость	200–400 циклов	100–300 циклов	60–100 циклов

Приведенные показатели позволяют выделить преимущества применения Ultimax Gravity в качестве связующего:

- Повышение устойчивости к кручению, изгибу и знакопеременным динамическим нагрузкам.
- Высокая влагостойкость.
- Морозостойкость.
- Низкая теплопроводность.
- Инертность по отношению к химическим воздействиям.
- Износостойкость.

Также, можно выделить несколько дополнительных преимуществ:

- Готовое изделие легко обрабатывается (резка, сверление)
- Имеется возможность формовать штучные изделия со сложной геометрией (МАФ, тротуарная плитка).

Более высокая прочность граней изделий по сравнению с бетоном и асфальтобетоном.

Возможно получение широкого спектра уникальных дизайнерских решений, используя фактурные и цветовые свойства натурального заполнителя (рис. 1)

Создание матовых и глянцевых покрытий с антискользящим эффектом (рис. 2).

Возможность создания водопропускающих пешеходных дорожек на рельефе с уклонами для минимизации водяных потоков ливневых вод.

Кроме того, увеличивается в несколько раз скорость работы, по сравнению с классическим вариантом укладки асфальта. Затраты на энергию и выбросы в атмосферу снижаются.

Рекомендуемая конструкция дорожного покрытия с использованием полимерного вяжущего Ultimax Gravity включает в себя следующие слои:

Подстилающий слой из утрамбованного песка или гравия, толщиной не менее 15см для пешеходных дорожек и 25см для проезда транспорта.

Покрытие из полимербетона толщиной не менее 25мм без трамбования.

Уложенную смесь не трамбуют, выравнивают ручным способом с помощью правил или телескопическим профилировщиком.

При работе с полимербетоном требуется только бетономешалка для приготовления смеси, которую необходимо расходовать в течение 30–40 минут. Таким образом, скорость производства работ многократно возрастает.

Особенностью применения полимерного связующего Ultimax Gravity, является необходимость защиты от влаги уложенного покрытия в течение 2 часов для обеспечения правильной полимеризации. При попадании влаги на свежее покрытие, возможно вспенивание полимера, приводящее к потере прочностных характеристик покрытия.

Набор прочности покрытия происходит постепенно. Схватывание происходит в период 2–24 часов. Первую нагрузку можно осуществлять не ранее 12–18 часов после укладки покрытия, а если предусмотрена нагрузка от автотранспорта, то не ранее 72 часов. Полное твердение происходит в период до 7 суток. Скорость отверждения зависит от температуры окружающего воздуха [25].

Во избежание деформационных трещин, в периоды заморозания–оттаивания, необходимо устраивать температурные швы, толщиной 1.5–2.0 мм через каждые 5м поверхности.



Рис. 1 – Пример вариантов цветового решения готовой поверхности [26]
Fig. 1 – Example of color options for the finished surface [26]



Рис. 2 – Пример вариантов поверхности (слева–матовое; справа–глянцевое). Фото автора
Fig. 2 – Example of surface options (left – matte; right – glossy). Photo by the author

Для подбора состава полимербетона с вяжущим Ultimax Gravity были выбраны несколько видов наполнителей с разным размером зерна:

- Гравий фракции 2–5мм
- Гравий фракции 3–8мм
- Гравий фракции 5–20мм
- ПГС 60/40 (песок/гравий)



Полученный состав полимербетона с вяжущим Ultimax Gravity приведен в таб. 4.

Таблица 4. Состав смеси полимербетона на основе связующего Ultimax Gravity Polymer
Table 4. Composition of a polymer concrete mixture based on the Ultimax Gravity Polymer binder

Вид наполнителя	Содержание Ultimax Gravity в % к массе наполнителя	Толщина слоя, см	Расход Ultimax Gravity, кг на 1м ²	Назначение
Гравий фракции 2–5мм	4.0–4.5	2.5	2.0–2.3	Пешеходные и велосипедные дорожки, ландшафтный дизайн, отмостка зданий, детские площадки, зоны бассейнов
Гравий фракции 3–8мм	3.9–4.2	2.5	1.8–2.2	
Гравий фракции 5–20мм	3.8–4.2	5.0	3.6–4.0	
ПГС 60/40 (песок/гравий)	4.7–5.0	5.0	5.0–5.5	Парковочные площадки для легковых автомобилей

4 Conclusions

В статье проанализированы научные исследования в области полимербетонов, описаны виды и характеристики полимербетонов.

Проведен сравнительный анализ характеристик полимербетона с вяжущим Ultimax Gravity, традиционного бетона и асфальтобетона.

Получены следующие результаты:

1. Разработан состав полимербетона необходимой влагопроницаемости на основе полимерного вяжущего Ultimax Gravity.
2. Определены перспективные направления исследований по улучшению характеристик полимербетонной композиции на основе вяжущего Ultimax Gravity.

Полученные результаты позволили сделать следующие выводы:

Анализ научных исследований показал, что проблема создания рецептуры влагопроницаемого бетона мало изучена и является актуальной.

Рассматриваемое полимерное вяжущее Ultimax Gravity для получения влагопроницаемых пористых пластичных бетонов дает преимущества перед обычным бетоном и асфальтобетоном в устойчивости к кручению, изгибу и знакопеременным динамическим нагрузкам, прочности краевого слоя. Использование исследуемого вяжущего позволяет сократить трудозатраты и срок проведения строительных работ.

Для правильного твердения полимербетона необходима защита от попадания влаги.

Необходимы дальнейшие исследования по расширению применения полимербетонов с полимерным вяжущим при разработке добавок для ускорения полимеризации бетона, а также для снижения вспенивания полимерной композиции при контакте с водой.

5 Acknowledgements

Авторы выражают особую благодарность ООО «ГравиКом» за предоставленную информацию.

References

1. Duxson, P. and Provis, J.L. and Lukey, G.C. and van Deventer, J.S.J. (2007) The role of inorganic polymer technology in the development of "green concrete". *Cement and Concrete Research*, **37**(12), 1590-1597. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2007.08.018>.
2. Abd-Elmoaty, A.E.M. (2011) Self-healing of polymer modified concrete. *Alexandria Engineering Journal*, **50**(2), 171-178. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2011.03.002>.



3. Jo, B.W. and Park, S.K. and Park, J.C. (2008) Mechanical properties of polymer concrete made with recycled PET and recycled concrete aggregates. *Construction and Building Materials*, **22(12)**, 2281-2291. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2007.10.009>.
4. Ohama, Y. (1998) Polymer-based admixtures. *Cement and Concrete Composites*. [https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(97\)00065-6](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(97)00065-6).
5. Ohama, Y. (1997) Recent progress in concrete-polymer composites. *Advanced Cement Based Materials*. [https://doi.org/10.1016/S1065-7355\(96\)00005-3](https://doi.org/10.1016/S1065-7355(96)00005-3).
6. Huang, B. and Wu, H. and Shu, X. and Burdette, E.G. (2010) Laboratory evaluation of permeability and strength of polymer-modified pervious concrete. *Construction and Building Materials*, **24(5)**, 818-823. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2009.10.025>.
7. Aamer Rafique Bhutta, M. and Hasanah, N. and Farhayu, N. and Hussin, M.W. and Tahir, M.B.M. and Mirza, J. (2013) Properties of porous concrete from waste crushed concrete (recycled aggregate). *Construction and Building Materials*, **47**, 1243-1248. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.06.022>.
8. Reis, J.M.L. (2006) Fracture and flexural characterization of natural fiber-reinforced polymer concrete. *Construction and Building Materials*, **20(9)**, 673-678. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2005.02.008>.
9. Chen, Y. and Wang, K. and Wang, X. and Zhou, W. (2013) Strength, fracture and fatigue of pervious concrete. *Construction and Building Materials*, **42**, 97-104. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.01.006>.
10. Giustozzi, F. (2016) Polymer-modified pervious concrete for durable and sustainable transportation infrastructures. *Construction and Building Materials*, **111**, 502-512. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.02.136>.
11. Ariffin, M.A.M. and Bhutta, M.A.R. and Hussin, M.W. and Mohd Tahir, M. and Aziah, N. (2013) Sulfuric acid resistance of blended ash geopolymer concrete. *Construction and Building Materials*, **43**, 80-86. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.01.018>.
12. Sofi, M. and van Deventer, J.S.J. and Mendis, P.A. and Lukey, G.C. (2007) Engineering properties of inorganic polymer concretes (IPCs). *Cement and Concrete Research*, **37(2)**, 251-257. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2006.10.008>.
13. Sokołowska, J.J. (2016) Technological properties of polymer concrete containing vinyl-ester resin waste mineral powder. *J. Build. Chem.*, **1**, 84-91. <http://dx.doi.org/10.17461/j.buildchem.2016.203>.
14. Ozgul, E.O. and Ozkul, M.H. (2018) Effects of epoxy, hardener, and diluent types on the hardened state properties of epoxy mortars. *Constr. Build. Mater*, **187**, 360-370. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.07.215>.
15. Michałek, J. (2019) Variation in Compressive Strength of Concrete across Thickness of Placed Layer. *Materials*, **12**, 21-62. <http://dx.doi.org/10.3390/ma12132162>.
16. Toufigh V. and Hosseinali M. and Shirshorshidi S.M. (2016) Experimental study and constitutive modeling of polymer concrete's behavior in compression. *Construction and Building Materials*, **112**, 183-190. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.02.100>.
17. Talah, F. and Kharchi, R. and Chaid (2015) Influence of Marble Powder on High Performance Concrete Behavior *1st International Conference on Structural Integrity, Procedia Engineering*, **114**, 685-690. <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.010>.
18. Zainab H. Mahdi and Baydaa Hussain Maula and Ahmed S. Ali and Mass R. Abdulghani. (2019) Influence of Sand Size on Mechanical Properties of Fiber Reinforced Polymer Concrete. *Open Engineering*, **9(1)**, 554-560. <http://dx.doi.org/10.1515/eng-2019-0066>.
19. Rakhmani Kh. and Montazer Geyb M. (2019) Nasyshcheniye CO2 gidratirovannogo izvestyu modifitsirovannogo pronitsayemogo betona. *Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal*, **92(8)**, 106-114. <https://doi.org/10.18720/MCE.92.9>.
20. Borhan, Tumadhir and Al-Karawi, Rasha. (2020) Experimental investigations on polymer modified pervious concrete. *Case Studies in Construction Materials*, **12**. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2020.e00335>.
21. Baoju Liu and Jinyan Shi and Minhua Sun and Zhihai He and Huijie Xu and Jinxia Tan. (2020) Mechanical and permeability properties of polymer-modified concrete using hydrophobic agent. *Journal of Building Engineering*, **31**. <https://doi.org/10.1016/j.jobee.2020.101337>.



22. Shen, F and Zhou, Y and Li, Z and Shi, W. (2019) Study on mechanical properties of polymer pervious cement concrete. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 479. <http://dx.doi.org/10.1088/1757-899X/479/1/012091>.
23. Krasnikova, N.M. and Khokhryakov, O.V. (2018) Uchebno–metodicheskoye posobiye k vypolneniyu laboratorno–prakticheskikh rabot dlya studentov po napravleniyu podgotovki 08.03.01 «Stroitel'stvo», napravlennost' (profil). "Proizvodstvo i primeneniye stroitel'nykh materialov, izdeliy i konstruktsiy"., po distsipline "Betonovedeniye". Kazan', 63. URL: <https://www.kgasu.ru/upload/iblock/c76/2..pdf> (date of application: 31.08.2023).
24. Morozova, N.N. and Makarov, D.B. (2018) Polimernyye betony i polimerasfal'tobetony: Metodicheskiye ukazaniya k vypolneniyu laboratorno–prakticheskikh rabot po distsipline "Sovremennyye spetsial'nyye betony" dlya studentov, obuchayushchikhsya po napravleniyu podgotovki 08.04.01 "Stroitel'stvo», napravlennost' (profil) "Innovatsionnyye tekhnologii vysokoprochnykh i vysokofunktsional'nykh betonov". Kazan', 20. URL: <https://www.kgasu.ru/upload/iblock/b15/2.pdf> (date of application: 31.08.2023).
25. Paturuev, V. (1984) The main types of polymer concrete and prospects for their development. *Concrete and reinforced concrete*, **353(8)**, 4-8. URL: https://science.totalarch.com/magazine/concrete/concrete_1984_08.pdf (date of application: 31.08.2023).
26. URL: <http://ultimaxgravity.ru/gallery/> (date of application: 31.08.2023).