

**МАКАРОВ Ю. А., ТЕРЕШКИН И. П., ЛУКАШИНА С. В.**  
**БЕТОНОПОЛИМЕРЫ НА ОСНОВЕ ЦЕМЕНТНЫХ БЕТОНОВ**  
**С МИНЕРАЛЬНЫМ НАПОЛНИТЕЛЕМ**

**Аннотация.** В статье рассмотрена возможность пропитки бетона полимерами с целью его защиты от климатических и агрессивных воздействий. Это один из путей развития современной индустрии строительных материалов, который позволяет повысить их долговечность и дает значительный экономический эффект.

**Ключевые слова:** минеральные добавки, наполнитель, долговечность, морозостойкость, пористость, цементный композит, полимер.

**MAKAROV YU. A., TERESHKIN I. P., LYKASHINA S. V.**  
**POLYMER-IMPREGNATED CONCRETE BASED**  
**ON CEMENT CONCRETE WITH MINERAL FILLER**

**Abstract.** The article discusses polymer impregnation of concrete to protect it from weather and corrosive influences. This is one of the ways of the modern industry of building materials, which enhances their durability and has a considerable economic effect.

**Keywords:** mineral additive, filler, durability, cold resistance, porosity, cement composite, polymer.

На протяжении многих лет бетон и железобетон являются основными материалами, применяемыми в строительной практике. Они прекрасно справляются с возложенными на них функциями при работе в нормальных условиях. Однако, при циклическом замерзании и оттаивании, а также при работе в условиях агрессивных воздействий возникает комплекс физических и физико-химических коррозионных процессов, вызывающих деформации и механические повреждения материалов и конструкций.

Разработка методов, позволяющих защитить бетон от внешних климатических и агрессивных воздействий, позволит продлить срок эксплуатации зданий и сооружений, снизить затраты на ремонт, а, следовательно, получить значительный экономический эффект.

Способы защиты бетона весьма разнообразны. Один из наиболее эффективных – пропитка его полимерами, хотя в практике производства строительных материалов применяется достаточно редко. При пропитке бетона полимером последний проникает в его поры и как бы закупоривает их, снижая дефектность структуры, и повышая непроницаемость во много раз.

Бетон, поры которого заняты полимером, называют бетонополимером. Бетонополимеры обладают комплексом новых свойств, которые определяются главным образом их структурой и свойствами исходных бетона и полимера.

Долговечность материала тесно связана с его проницаемостью. О долговечности материала принято судить по интенсивности изменения главных структурных элементов. Обычно долговечность материала оценивают по его морозостойкости.

Единой теории, объясняющей механизм морозного разрушения бетона, в настоящее время нет, хотя очевидно, что снижение прочности насыщенного влагой бетона обусловлено образованием в порах бетона льда, объем которого больше объема замерзшей воды. Расширению воды при замерзании препятствует минеральный скелет бетона, в котором в результате возникают значительные напряжения. Цикличность замерзания и оттаивания в итоге приводит к ослаблению и разрушению структуры бетона.

Способность бетона противостоять морозному разрушению определяется присутствием в его структуре некоторого объема пор, не заполненных водой, в которые при замерзании отжимается часть воды под давлением растущих кристаллов льда. Следовательно, морозостойкость бетона будет зависеть от характера пористости, так как он определяет объем и распределение льда, образующегося при отрицательных температурах. Вероятно, наибольшую морозостойкость будут иметь плотные бетоны, обладающие минимальным объемом открытых пор и максимальным соотношением объема замкнутых и открытых пор.

Параметры пористости бетона можно регулировать, меняя соотношение компонентов бетонной смеси или вводя наполнители, что и являлось целью исследований авторов данной статьи.

Состав бетона рассчитывался по методике, основанной на регулировании соотношения объема условно замкнутых пор к объему открытых пор, называемым критериальным параметром морозостойкости. Увеличение объема условно замкнутых пор достигается за счет повышения содержания в бетоне эмульгированного воздуха, которое можно регулировать расходом материалов на 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси, изменением водоцементного отношения  $b$  введением наполнителей.

Расчетная марка бетона – F500 (состав К-1), расход материалов на 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси: цемент 422 кг; песок 367 кг; щебень 1160 кг; вода 209 кг. Часть цемента для его экономии, а также регулирования структуры бетона заменяли мелкодисперсным наполнителем – цеолитом в количестве 17% от массы цемента (состав К-2) [1].

Для исследования физико-механических свойств образцы бетона выдерживали 28 суток в нормальных температурно-влажностных условиях. Затем проводили испытания на

сжатие согласно ГОСТ 10180-90; параметры поровой структуры оценивали методом анализа кинетики водопоглощения согласно ГОСТ 12730.4-78. Результаты испытаний представлены в таблице 1.

Таблица 1

Состав	R <sub>b</sub> , МПа	W <sub>в</sub> , %	W <sub>0</sub> , %	Π <sub>и</sub> , %
К-1	30,00	4,73	11,07	8,21
К-2	31,75	3,52	8,38	6,77

Анализируя полученные данные, можно сделать следующие выводы: введение наполнителя в состав бетонной смеси позволяет не только повысить прочность бетона и добиться экономии цемента, но и регулировать параметры поровой структуры – уменьшаются истинная пористость и водопоглощение, а также соотношение открытой и замкнутой пористости, что положительно влияет на долговечность материала.

На основе бетонов составов К-1 и К-2 были изготовлены образцы бетонополимеров. Для этого предварительно высушенные в термощкафу до постоянной массы образцы бетона пропитывались композицией на основе эпоксидной смолы ЭД-20 способом гидростатического погружения в пропиточную ванну. Затем проводилась термокаталитическая полимеризация.

Изготовленные образцы бетона и бетонополимера испытывали на водопоглощение (ГОСТ 12175-90), морозостойкость (ГОСТ 10060-95) и химическую стойкость (ГОСТ 25246-82). Результаты испытаний представлены на графиках (рис. 1–4).

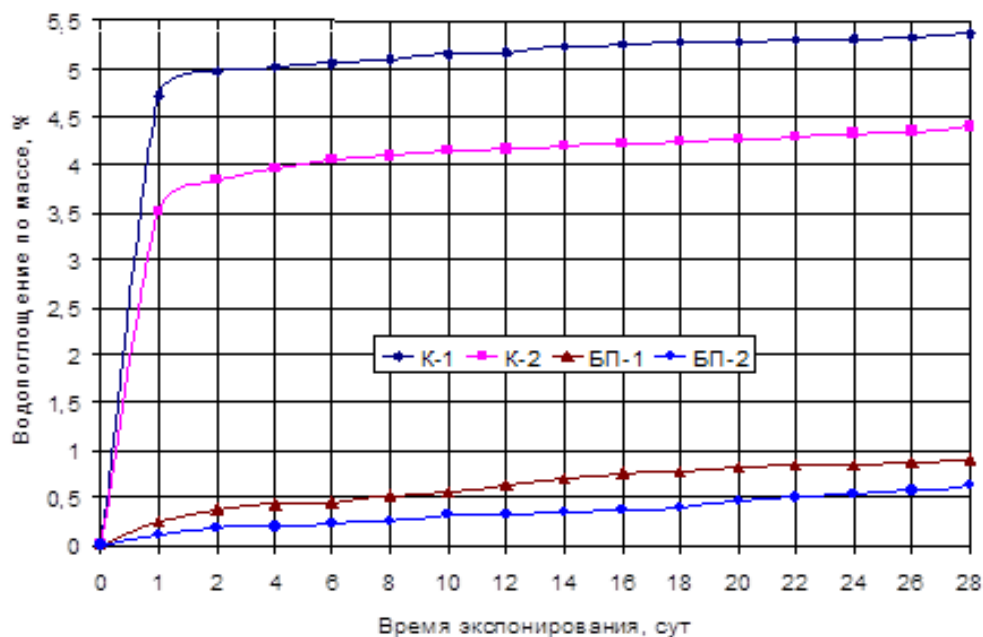


Рис. 1. Водопоглощение образцов бетона и бетонополимера.

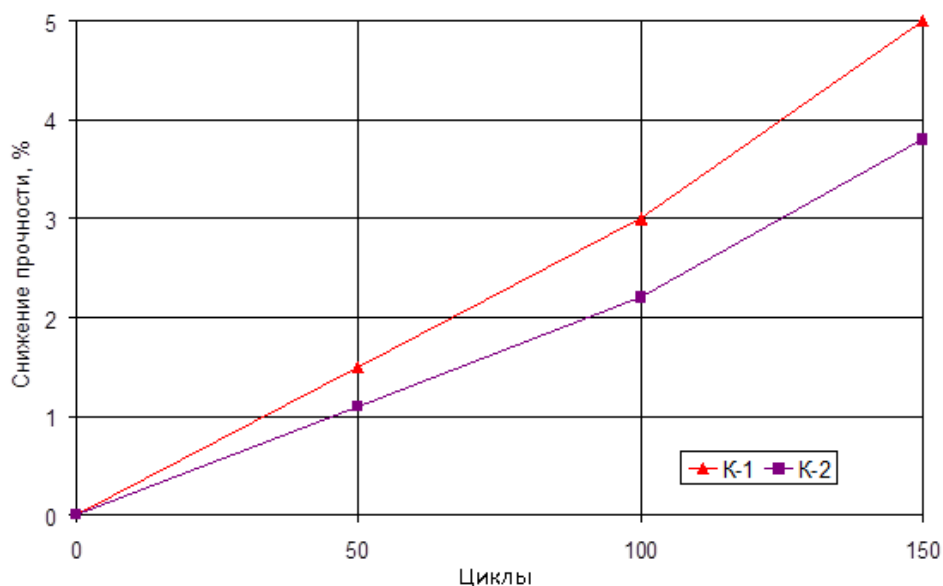


Рис. 2. Потеря образцами бетона прочности при сжатии при испытаниях на морозостойкость.

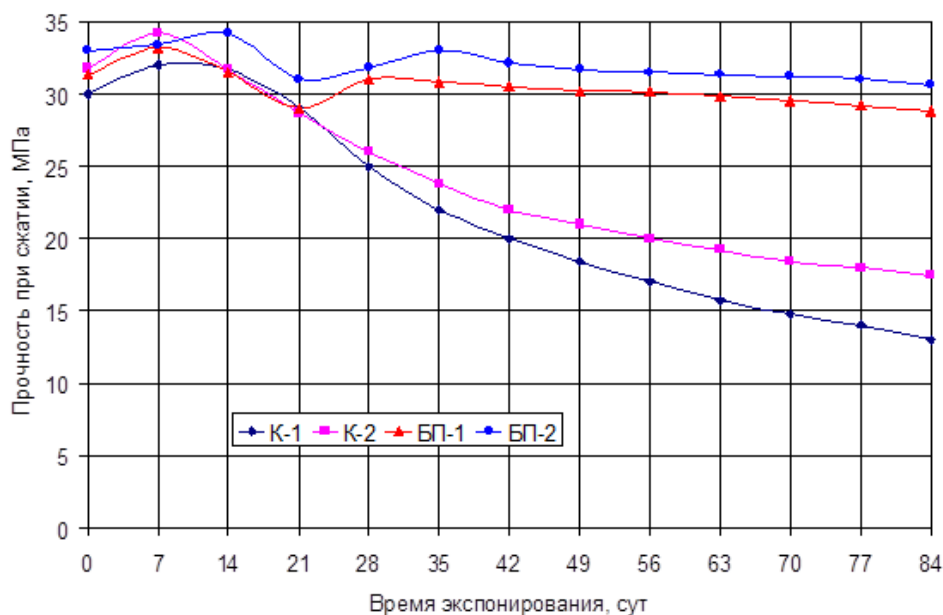


Рис. 3. Изменение прочности при сжатии образцов бетона и бетонополимера при экспонировании в 5% растворе серной кислоты.

Анализируя графики (рис. 1) приходим к выводу, что пропитка бетона полимерами резко снижает его проницаемость. Так, водопоглощение пропитанных образцов уменьшилось в 6-7 раз и составило к 28 суткам менее 1% по массе.

Испытания на морозостойкость (рис. 2) выдержали все образцы. Потеря прочности у образцов состава К-1 составила 5% за 150 циклов испытаний, что соответствует марке по морозостойкости F500. Образцы состава К-2 потеряли 3,8% прочности. Для образцов данного состава можно прогнозировать марку по морозостойкости F550. Повышение

морозостойкости бетона с мелкодисперсным наполнителем объясняется уменьшением открытой пористости материала (табл. 1).

Испытания образцов бетонополимеров показали, что вследствие повышения плотности и водонепроницаемости бетона при пропитке полимером его морозостойкость возрастает в несколько раз. Пропитка полимером исключает насыщение бетона влагой, а значит, и воздействие на структуру разрушающего давления льда. За 150 циклов испытаний образцы бетонополимеров не показали никаких признаков начала разрушения или изменения прочности.

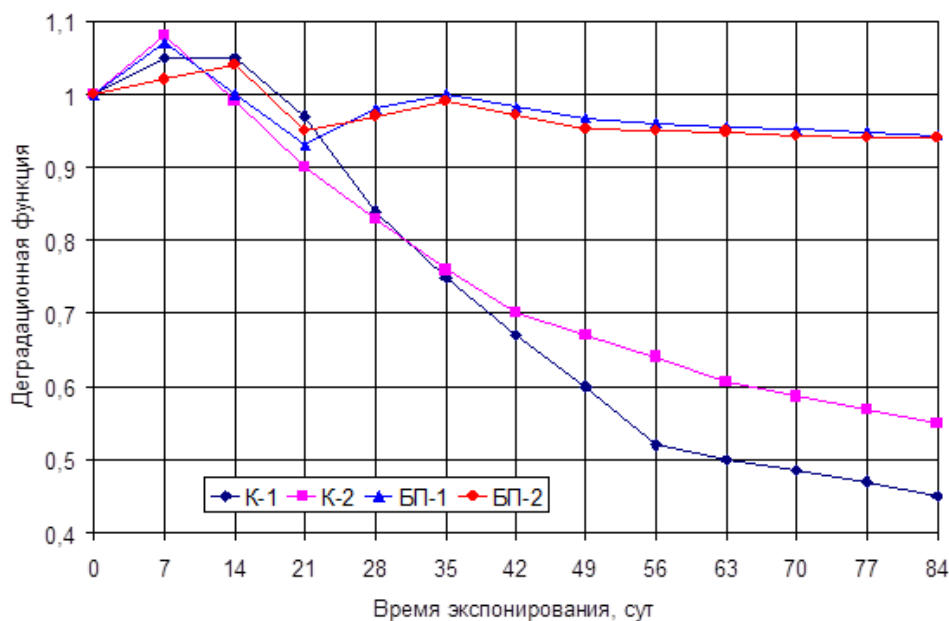


Рис. 4. Химическое сопротивление бетона и бетонополимера при экспонировании в 5% растворе серной кислоты.

Анализ результатов испытаний на химическую стойкость исследуемых составов (рис. 3, 4) позволяет сделать следующие выводы:

– наличие наполнителя влияет на динамику изменения прочности бетона при выдерживании в агрессивной среде; прочность образцов, наполненных цеолитом, снизилась в меньшей степени, чем прочность образцов без наполнителя. Повышение химического сопротивления при введении цеолита объясняется протеканием реакций ионного обмена между кислотой и цеолитом – декатионирование или деалюминирование, что приводит к росту содержания  $\text{SiO}_2$ , уплотняющего цементный камень и устойчивого к воздействию кислот [2];

– образцы бетонополимеров, выдержанные в течение 84 суток в агрессивной среде, изменили свою прочность незначительно, что объясняется снижением проницаемости материала при пропитке его полимером. В результате этого скорость диффузии агрессивной среды внутрь бетона резко падает, а разрушение развивается с поверхности материала.

Результаты исследований также показывают, что наличие наполнителя не влияет на характер изменения прочности бетона под действием агрессивной среды. Так как деградация происходит из-за сульфатизации, в начальный период времени наблюдается характерное для этого процесса увеличение прочности, связанное с повышением плотности материала за счет образования в его порах кристаллов гидросульфатоалюмината кальция. В дальнейшем рост кристаллов разрушает структуру и происходит падение прочности.

Иная картина наблюдается для образцов, обработанных полимером. Кривая изменения прочности обнаруживает два максимума – в области 7-14-и и 35-и суток. Первый максимум предположительно связан с наличием отдельных проницаемых мест в полимерном покрытии, например, седиментационных пор, не заполненных полимером, в которых происходит непосредственный контакт цементной матрицы с агрессивной средой. В результате этого начинается локальная сульфатная коррозия, в начальный период которой прочность незначительно возрастает. В то же время фронт разрушения не распространяется вглубь материала, так как проникновение агрессивной среды сдерживается полимером, заполняющим более мелкие поры. Наступает временная стабилизация прочности, продолжающаяся до 21–28 суток, в течение которых несущая способность остается неизменной либо незначительно падает. Затем вновь начинается рост прочности и вскоре наступает второй максимум, предположительно связанный с явлением упрочнения полимера в агрессивной среде [3,4]. Это явление не вписывается в привычные рамки понятий о деградации и наблюдается только в случае ограниченного массопоглощения полимером агрессивной среды. Упрочнение связано с временным «залечиванием» агрессивной средой дефектов в полимере. С течением времени эти включения увеличиваются в размерах, и начинается химически активированный процесс разрыва связей в перенапряженных участках. Вследствие этого в полимере образуются микроканалы, открывающие доступ агрессивной среде к внутренним слоям бетонополимера. Вероятно, диффузия агрессивной среды через микроканалы происходит крайне медленно, так как на графике отсутствует третий максимум, который должен был быть вызван сульфатной коррозией внутренних (не пропитанных) слоев материала. Вместо этого при медленной диффузии агрессивной среды процессы сульфатной коррозии происходят в микрообъемах, существенно не влияя на прочность материала. Но с течением времени микроповреждения накапливаются, и происходит плавное снижение прочности.

Таким образом, несмотря на увеличение стоимости бетона при пропитке его полимерами, экономический эффект применения бетонополимеров может быть значительным в результате увеличения срока службы материалов и конструкций.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Макаров Ю. А., Терешкин И. П. Применение цеолитсодержащих пород для изготовления растворов на минеральных вяжущих // Альманах современной науки и образования. – 2013. – № 11. – С. 102-105.
2. Муминов С. З., Арипов Э. А. Исследования в области термодинамики и термохимии адсорбции на глинистых минералах. – Ташкент: Фан, 1987. – 144 с.
3. Соломатов В. И., Селяев В. П. Химическое сопротивление композиционных строительных материалов. – М.: Стройиздат, 1987. – 264 с.
4. Соломатов В. И., Селяев В. П., Соколова Ю. А. Химическое сопротивление материалов. – 2-е изд., перераб. и дополн. – М.: РААСН, 2001. – 284 с.