

А. Н. ПШИНЬКО, А. В. КРАСНЮК, Е. С. ХАРЧЕНКО (ДИИТ)

## **ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ РАСТВОРОВ НА ОСНОВЕ КАРБАМИДНЫХ СМОЛ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ БЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ТРАНСПОРТНЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ**

У статті наведено результати досліджень з визначення реологічних та міцностних властивостей полімерних розчинів на основі карбамідних смол. Отримано моделі, які відображають реологічні та міцностні властивості матеріалів. Визначені оптимальні склади для проведення відновлювальних робіт бетонних транспортних гідротехнічних споруд.

В статье приведены результаты исследований по определению реологических и прочностных свойств полимерных растворов на основе карбамидных смол. Получены модели, отражающие реологические и прочностные свойства материалов. Определены оптимальные составы для проведения восстановительных работ бетонных транспортных гидротехнических сооружений.

The article presents the results of research on determination of rheological and strength characteristics of polymer mortars, based on carbamide resins. The models have been obtained, reflecting rheological and strengths properties of the material. The optimal compositions have been determined for performance of reconstruction works of concrete-based hydro-technical transport structures.

Воздействия природных и антропогенных агрессивных факторов становятся причинами разрушения, снижения долговечности и несущей способности искусственных транспортных гидротехнических сооружений. Попеременное увлажнение и высыхание, замораживание и оттаивание, механические воздействия льдов, химические и биологические воздействия являются основными причинами разрушения бетона гидротехнических сооружений. Истирание приводит к механическому разрушению бетона. Смачивание бетона приводит к его набуханию, а высыхание к усадке – это является причиной появления микротрещин в бетоне с последующим их увеличением. Замерзание воды в порах бетона, сопровождается повышением ее объема на 9 %. В результате этого происходит заполнение свободных пор бетона, а остальная замерзшая вода вызывает разрушение структуры бетона. Кроме всего перечисленного, бетон в этой зоне подвержен вымыванию свободной извести из цементного камня, воздействию агрессивных веществ, растворенных в воде и воздухе, а также разрушающему воздействию продуктов жизнедеятельности биологических образований. Разрушение бетона в зоне переменного уровня воды начинается с шелушения бетонной поверхности и отслоения растворной составляющей бетона. Потом разрушения углубляются в тело бетона, способствуя образованию каверн диаметром до 3–4 см и глубиной

0,7...1,5 см с последующим увеличением их диаметра до 15...25 см и глубиной до 20 см. Отдельные каверны, соединяясь, образуют поясообразные ниши, глубина которых может достигнуть в отдельных случаях 30...35 см [1–3].

Как показывает опыт, использование традиционных цементных растворов для ремонта транспортных гидротехнических сооружений малоэффективно. Отремонтированные цементными растворами конструкции из-за комплекса приведенных выше воздействий недолговечны. Материал для ремонта гидротехнических сооружений должен иметь: высокие показатели по прочности и стираемости, водонепроницаемости, морозостойкости, биостойкости, коррозионной стойкости; обеспечивать высокое сцепление с поверхностью старого бетона. Ряд проведенных исследований показывает, что полимерные растворы (фурановые, эпоксидные, фенолоформальдегидные, полиэфирные, карбамидные и др.) наилучшим образом удовлетворяют этому комплексу требований [2; 3].

Для применения в различных регионах Украины наибольший интерес представляют карбамидные смолы, так как они дешевле, малотоксичны (применяются в мебельной промышленности) и производятся в Украине. При этом по своим физико-механическим характеристикам не уступают другим видам полимеров.

С целью разработки полимерных растворов на основе карбамидных смол для восстановле-

ния бетонных элементов транспортных гидротехнических сооружений были проведены исследования реологических свойств карбамидных полимерных растворов и прочностных свойств полимерного камня.

При ремонте бетонных транспортных сооружений в зоне переменного уровня воды важно, чтобы полимеррастворные ремонтные смеси имели заданные характеристики по подвижности и срокам полимеризации. Для проектирования полимеррастворных смесей заданных свойств были проведены планируемые эксперименты, в которых варьировались факторы приведенные в табл. 1.

Таблица 1

**Варьируемые факторы первого планированного эксперимента**

Уровни	Смола КФ-МТ-15, кг/м <sup>3</sup>	Отвердитель C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> O <sub>4</sub> , кг/м <sup>3</sup>	Наполнитель ПППФ, кг/м <sup>3</sup>
-1	500	35	0
0	600	70	75
+1	700	105	150

Готовились полимеррастворные смеси, на которых определялись подвижность и сроки их полимеризации, по специально разработанным методикам. На основании экспериментальных данных были рассчитаны параметры принятой модели, отражающие свойства полимеррастворной смеси по подвижности и срокам полимеризации.

Модель, отражающая подвижность полимеррастворной смеси, где в качестве отвердителя применяется 5 % раствор щавелевой кислоты C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>O<sub>4</sub> имеет вид

$$P_1 = 258,93 + 27,9X_1 + 18,5X_2 - 0,4X_3 + 0,76X_1^2 - 6,44X_2^2 - 8,54X_3^2 - 1,6X_1 \cdot X_2 - 1,6X_1 \cdot X_3 - 1X_2 \cdot X_3 - 1,2X_1 \cdot X_2 \cdot X_3,$$

где  $P_1$  – подвижность полимеррастворной смеси первого планированного эксперимента, мм;  $X_1$  – количество смолы КФ-МТ-15 в условных единицах;  $X_2$  – количество отвердителя в условных единицах;  $X_3$  – количество наполнителя ПППФ в условных единицах.

Как видно из параметров модели, основным фактором, определяющим подвижность (вяз-

кость) смеси, является содержание смолы и отвердителя.

Модель, отражающая время полимеризации полимеррастворной смеси, где в качестве отвердителя применяется 5 % раствор щавелевой кислоты C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>O<sub>4</sub> имеет вид

$$t_1 = 19,51 + 13,9X_1 - 46,7X_2 + 0,7X_3 + 5,255X_1^2 + 28,65X_2^2 + 1,06X_3^2 - 12,5X_1 \cdot X_2 + 0,5X_1 \cdot X_3 + 0,3X_2 \cdot X_3 - 0,7X_1 \cdot X_2 \cdot X_3,$$

где  $t_1$  – время полимеризации полимеррастворной смеси первого планированного эксперимента, мин;  $X_1, X_2, X_3$  – переменные количества составляющих.

Из приведенной модели видно, что наибольшее влияние на сроки полимеризации оказывает количество отвердителя.

Сравнение экспериментальных данных с данными изолиний подвижности и сроков полимеризации, построенных по моделям, показали, что их отклонение находится в пределах 4...6 %.

Анализ приведенных данных свидетельствует о существовании зон наибольших показателей подвижности и наименьших показателей сроков полимеризации смеси, поэтому с помощью полученных моделей можно достаточно точно определить оптимальные соотношения всех трех факторов полимерного раствора.

Проведенными экспериментами установлено, что для торкретирования наиболее удобно применять полимеррастворные смеси с подвижностью эквивалентной 200...250 мм расплыва смеси на стандартном встряхивающем столе и сроками начала полимеризации более 30 мин (снижение подвижности смеси на 50 мм). На основании этого был проведен анализ графиков построенных по математическим моделям и выбраны наиболее приемлемые пределы составляющих полимерного раствора с точки зрения их ремонтной технологичности и при условии возможной экономии смолы и отвердителя.

Для определения прочностных характеристик полимерных растворов на основе карбамидных смол был также проведен планируемый эксперимент. Анализ полученных данных, расчет коэффициентов математических моделей проводились по описанной выше методике с помощью ЭВМ.

В результате проведенных экспериментов были получены модели прочностных характе-

ристик полимеррастворного камня:  $Y_{11}$  – прочность на сжатие образцов в возрасте 2 сут. – водного твердения (т. е. погружены в воду сразу после полимеризации);  $Y_{12}$  – прочность на сжатие образцов в возрасте 28 сут. – водного твердения;  $Y_{13}$  – прочность на изгиб образцов в возрасте 2 сут. – водного твердения;  $Y_{14}$  – прочность на изгиб образцов в возрасте 28 сут. – водного твердения;  $Y_{15}$  – прочность на сжатие образцов в возрасте 2 сут. – твердение на суше (18...20 °С, влажность 60...70 %);  $Y_{16}$  – прочность на сжатие образцов в возрасте 28 сут. – твердение на суше;  $Y_{17}$  – прочность на изгиб образцов в возрасте 2 сут. – твердение на суше.

В результате проведенных экспериментов были получены следующие модели, отражающие прочностные характеристики полимеррастворного камня:

$$Y_{11} = 35,97 + 2,99X_1 + 7,41X_2 - 2,63X_3 - \\ -5,12X_1^2 - 10,78X_2^2 - 3,63X_3^2 + 0,09X_1 \cdot X_2 - \\ -1X_1 \cdot X_3 + 3,57X_2 \cdot X_3 + 0,33X_1 \cdot X_2 \cdot X_3;$$

$$Y_{12} = 40,26 + 3,94X_1 + 3,3X_2 - 1,9X_3 - \\ -5,28X_1^2 - 8,02X_2^2 - 4,5X_3^2 - 0,66X_1 \cdot X_2 - \\ -0,48X_1 \cdot X_3 + 2,58X_2 \cdot X_3 - 0,51X_1 \cdot X_2 \cdot X_3;$$

$$Y_{13} = 12,96 + 1,3X_1 + 3,01X_2 - 0,76X_3 - \\ -2,28X_1^2 - 3,67X_2^2 - 1,67X_3^2 + 0,6X_1 \cdot X_2 - \\ -0,42X_1 \cdot X_3 + 1,13X_2 \cdot X_3 + 0,05X_1 \cdot X_2 \cdot X_3;$$

$$Y_{14} = 11,85 + 2,2X_1 + 1,48X_2 - 0,15X_3 - \\ -0,85X_1^2 - 1,6X_2^2 - 0,29X_3^2 + 0,25X_1 \cdot X_2 - \\ -0,27X_1 \cdot X_3 + 0,94X_2 \cdot X_3 - 0,03X_1 \cdot X_2 \cdot X_3;$$

$$Y_{15} = 38,76 + 3,24X_1 + 6,11X_2 - 2,23X_3 - \\ -4,95X_1^2 - 10,84X_2^2 - 3,78X_3^2 + 0,48X_1 \cdot X_2 - \\ -1,76X_1 \cdot X_3 + 3,22X_2 \cdot X_3 + 0,06X_1 \cdot X_2 \cdot X_3;$$

$$Y_{16} = 42,98 + 3,2X_1 - 0,77X_2 - 0,4X_3 - \\ -1,43X_1^2 - 2,05X_2^2 - 1,91X_3^2 - 0,08X_1 \cdot X_2 - \\ -0,62X_1 \cdot X_3 - 0,2X_2 \cdot X_3 + 1,74X_1 \cdot X_2 \cdot X_3;$$

$$Y_{17} = 14,25 + 1,87X_1 + 2,35X_2 - 0,96X_3 - \\ -2,84X_1^2 - 4,44X_2^2 - 1,57X_3^2 + 0,48X_1 \cdot X_2 - \\ -0,87X_1 \cdot X_3 + 0,47X_2 \cdot X_3 + 0,04X_1 \cdot X_2 \cdot X_3,$$

где  $Y$  – показатель прочности полимеррастворного камня, МПа;  $X_1$  – количество смолы в условных единицах (задается в пределах от  $-1$  до  $+1$ , включительно);  $X_2$  – количество отвердителя в условных единицах (задается в пределах от  $-1$  до  $+1$ , включительно);  $X_3$  – количество наполнителя в условных единицах (задается в пределах от  $-1$  до  $+1$ , включительно).

Анализ экспериментальных данных показал, что прочностные характеристики полимеррастворного камня на основе карбамидной смолы КФ-МТ-15 зависят от вида и содержания отвердителя, количества смолы, содержания воды в растворе и условий его эксплуатации. Особенно важно, что установлены области наибольшей прочности полимерных растворов с использованием различных количеств микронаполнителя, а также различных отвердителей. При этом сравнение экспериментальных данных с результатами, полученными по моделям, показало, что их расхождение составляет 4...7 %, что свидетельствует об адекватности полученных моделей. Исследованиями установлено, что прочность на сжатие полимерных растворов на основе карбамидных смол в возрасте 2 сут. составляет 20...35 МПа, возрасте 28 сут. – 30...50 МПа, а на изгиб в возрасте двух суток – 8...16 МПа.

Установленные экспериментальные факты позволяют надежно прогнозировать свойства исследуемых композиций в производстве, назначая составы требуемой прочности (марки раствора) при заданной подвижности, а также время полимеризации опытной смеси.

На основании проведенного анализа результатов экспериментов были выбраны оптимальные составы по прочностным показателям полимеррастворного камня, при этом учитывались реологические характеристики полимеррастворной смеси и дешевизна составов.

Проведенные эксперименты позволили получить достаточно полное представление о реологических и прочностных характеристиках полимеррастворной смеси и камня. Однако для того, чтобы утверждать целесообразность их применения для восстановления бетона транспортных сооружений в зоне переменного уровня воды, необходимо произвести дополнительные исследования полимеррастворного камня

в различных условиях эксплуатации, его адгезионную прочность к поверхности бетона, химическую и биостойкость и др.

В результате проведенных исследований были определены реологические свойства полимерных растворов на основе карбамидной смолы КФ-МТ-15. Установлено, что для торкретирования наиболее удобно применять полимерные растворные смеси с подвижностью эквивалентной 200...250 мм расплыва смеси на стандартном встряхивающем столе и сроками начала полимеризации более 25 мин. Оптимизированы прочностные свойства полимерного камня. Установлено, что прочностные характеристики полимеррастворного камня на основе карбамидной смолы КФ-МТ-15 зависят от вида и содержания отвердителя, количества смолы и наполнителя (ППФ), содержания воды в единице объема раствора и условий его эксплуатации. На основании проведенного анализа результатов экспериментов выбраны оптимальные составы по реологическим

и прочностным показателям полимерных растворов. Разработаны модели, отражающие реологические и прочностные характеристики карбамидных полимерных растворов, что позволяет их оптимизировать.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Содержание, реконструкция, усиление и ремонт мостов и труб: Учебн. для студ вуз. ж-д. трансп. / Осипов В. О., Кузьмин Ю. Г., Киста А. А. и др. / Под ред. В. О. Осипова. Ю. Г. Кузьмина. – М.: Транспорт, 1996. – 471 с.
2. Пшинько А. Н. Подводное бетонирование и ремонт искусственных сооружений: Монография.– Д.: Пороги, 2000. – 411 с.
3. Соломатов В. И., Бобрышев А. Н., Химмлер Н. Г. Полимерные композиционные материалы в строительстве. – М.: Стройиздат, 1988. – 312 с.

Поступила в редколлегию 11.01.04 г.