

**СЕЛЯЕВ В. П., НИЗИН Д. Р., ОШКИНА Л. М., ЧЕРНОВ А. Н.**

**ЩЕЛОЧЕСТОЙКОСТЬ ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИТОВ  
С ПОВЫШЕННЫМИ РЕОЛОГИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ**

**Аннотация.** Представлены результаты экспериментальных исследований упруго-прочностных характеристик и щелочестойкости эпоксидных композитов в зависимости от содержания активного разбавителя Этал-1. Выявлено оптимальное содержание Этал-1, позволяющее получать составы с требуемым комплексом свойств.

**Ключевые слова:** эпоксидное связующее, алифатический разбавитель, щелочестойкость.

**SELYAEV V. P., NIZIN D. R., OSHKINA L. M., CHERNOV A. N.**

**ALKALI RESISTANCE OF EPOXY COMPOSITES  
WITH ADVANCED REOLOGICAL CHARACTERISTICS**

**Abstract.** The article presents the results of experimental studies of elastic-strength characteristics and alkali resistance of epoxy composites in relation to the content of active diluent Etal-1. The authors have revealed the optimal content of Etal-1 that allows obtaining compositions with the required combination of properties.

**Keywords:** epoxy binder, aliphatic diluent, alkali resistance.

Одним из приоритетных направлений развития современного материаловедения является задача значительного повышения долговечности как существующих, так и вновь возводимых зданий и сооружений. Это вызвано, прежде всего, непрекращающимся усилением негативного влияния факторов окружающей среды. Одним из наиболее популярных способов сохранения несущей способности строительных изделий и конструкций является использование защитно-декоративных пропиток и покрытий на полимерной основе [1; 2; 3; 4].

В связи с тем, что наибольшее агрессивное воздействие на бетоны, обладающие высоким водородным показателем ( $\text{pH}=12\div 13$ ), оказывают растворы кислот, большая часть исследований при разработке защитных покрытий, в том числе на основе эпоксидных связующих, посвящена оценке их кислотостойкости. В то же время эпоксидные композиты на основе традиционных отвердителей, как правило, обладают недостаточной стойкостью к продуктам гидратации бетона [1; 4], что требует при разработке защитных составов проведения дополнительных исследований на щелочестойкость.

Кроме того, при разработке составов защитных покрытий бетонных оснований особое внимание следует уделять обеспечению высокой адгезионной прочности наносимых

покрытий к бетонным основаниям. Сила адгезионного сцепления полимерного покрытия с подложкой является важнейшей физико-химической характеристикой, определяющей долговечность строительных конструкций, эксплуатирующихся в условиях действия агрессивных сред. В результате взаимодействия химических реагентов с материалом в таких конструкциях происходят качественные и количественные изменения, которые зависят от характеристик материалов и особенностей воздействующей на них среды. Уже на стадии формирования адгезионного соединения возникают разнообразные дефекты – потенциальные очаги будущего разрушения. Ими могут быть различные загрязнения, оставшиеся на поверхности бетонного основания, не заполненные адгезивом углубления, воздушные включения, продукты, выделившиеся в процессе склеивания и скопившиеся на границе раздела, поры, оставшиеся после улетучивания растворителя, трещины, возникшие в процессе усадки.

Одной из основных характеристик полимерных покрытий, оказывающих наибольшее влияние на величину адгезионной прочности, является вязкость состава, обеспечивающая максимально возможную глубину пропитки бетонного основания, зависящую также от его поверхностной пористости. Повышение глубины проникновения полимерного композита вглубь бетонной подложки позволяет сформировать переходный слой между основанием и покрытием, приводя к образованию надежного адгезионного сцепления и, как следствие, повышению долговечности изделий и конструкций с полимерными покрытиями. Создаваемые таким образом изделия, распределение свойств по высоте поперечного сечения которых изменяется по определенному закону, можно отнести к функционально-градиентным [5; 6].

В данной работе снижение вязкости полимерных композиций на основе наиболее широко используемой в строительстве эпоксидной смолы ЭД-20 достигалось путем введения в состав алифатического разбавителя Этал-1, представляющего собой современный аналог традиционных разбавителей ДЭГ-1 и ТЭГ-1, в количестве 5, 10, 15, 20, 25 и 50% от массы смоляной составляющей. В качестве отверждающей системы использовался отвердитель аминного типа Этал-45М. В сочетании со смолой ЭД-20 он обладает в 3 раза большей жизнеспособностью по сравнению с традиционным отвердителем полиэтиленполиамин (ПЭПА), позволяет дополнительно снизить вязкость полимерного связующего при обеспечении достаточно высоких физико-механических характеристик готовых композитов [7; 8].

Экспериментальные исследования упруго-прочностных характеристик проводились на образцах-восьмерках, изготовленных согласно ГОСТ 11262-80 (тип 2). Для каждого состава параллельно исследовалось не менее 6 образцов. В качестве исследуемых

характеристик определялись: предел прочности, модуль упругости и относительное удлинение при растяжении. Реологические характеристики полимерного связующего определялись с помощью вискозиметра ВЗ-246 с диаметром отверстия 4 мм. По результатам проведенного исследования установлено существенное снижение реологических параметров при введении в состав полимерного связующего активного разбавителя Этал-1 и использовании отвердителя Этал-45М (рис. 1). В зависимости от содержания Этал-1 (5÷50% от массы смоляной составляющей) достигнуто снижение вязкости составов, соответственно, в 1,3÷7,8 раз.

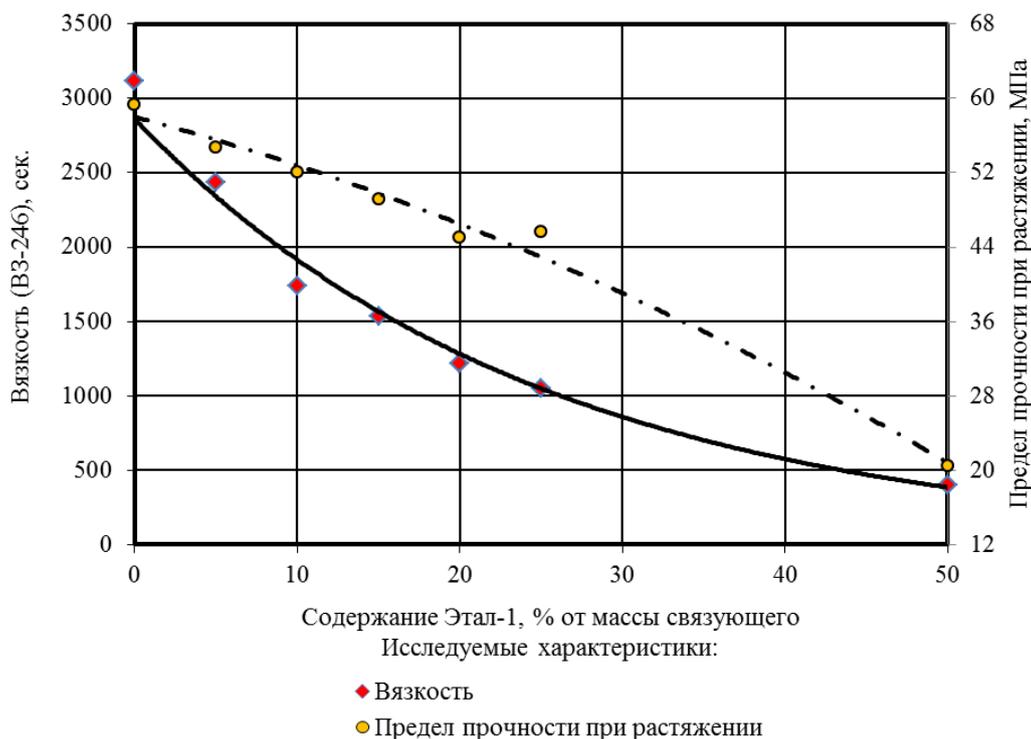


Рис. 1. Изменение реологических и прочностных характеристик эпоксидных композитов в зависимости от содержания активного разбавителя Этал-1.

Известно, что введение в состав полимерных связующих растворителей и разбавителей, как правило, приводит к значительному снижению упруго-прочностных характеристик. Исключение составляет использование нереакционноспособных разбавителей, проявляющих характер антипластификаторов – соединений, повышающих одновременно прочность и эластические характеристики полимерных композиций [3].

Анализ кривых деформирования эпоксидных композитов при растяжении (рис. 2, 3) показал, что введение в состав до 50% активного разбавителя приводит к снижению прочностных характеристик в 2,9 раза (рис. 1), модуля упругости – в 2,3 раз. Результаты исследования упруго-прочностных характеристик контрольных составов представлены в таблице.

Таблица

Результаты исследования составов эпоксидных покрытий контрольных составов и после экспонирования в течение 30 суток в растворе NaOH с pH=12,5

| Исследуемая характеристика                               | Содержание активного разбавителя<br>Этал-1, % от мас. связующего |                      |                      |                      |                       |                      |                       |
|--|--|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|
|  | 0  | 5                    | 10                   | 15                   | 20                    | 25                   | 50                    |
| контрольные составы                                      |  |                      |                      |                      |                       |                      |                       |
| Предел прочности при растяжении, МПа                     | 59,28  | 54,76                | 52,03                | 49,10                | 44,98                 | 45,68                | 20,45                 |
| Модуль упругости при растяжении, МПа                     | 636,3  | 593,9                | 568,7                | 557,8                | 211,1                 | 519,1                | 279,8                 |
| Относительное удлинение при максимальной нагрузке, %     | 8,62   | 8,75                 | 9,03                 | 8,39                 | 7,43                  | 8,90                 | 9,18                  |
| через 30 суток экспонирования в растворе NaOH с pH=12,5* |  |                      |                      |                      |                       |                      |                       |
| Предел прочности при растяжении, МПа                     | <u>56,30</u><br>0,95   | <u>51,88</u><br>0,95 | <u>42,05</u><br>0,81 | <u>41,37</u><br>0,84 | <u>40,29</u><br>0,90  | <u>36,54</u><br>0,80 | <u>11,59</u><br>0,57  |
| Модуль упругости при растяжении, МПа                     | <u>579,4</u><br>0,91   | <u>532,8</u><br>0,90 | <u>482,9</u><br>0,85 | <u>468,8</u><br>0,84 | <u>454,86</u><br>0,89 | <u>432,3</u><br>0,83 | <u>126,46</u><br>0,45 |
| Относительное удлинение при максимальной нагрузке, %     | <u>9,23</u><br>1,07  | <u>9,46</u><br>1,08  | <u>9,27</u><br>1,03  | <u>8,67</u><br>1,03  | <u>8,82</u><br>1,19   | <u>8,04</u><br>0,90  | <u>30,49</u><br>3,32  |
| Прирост массы, %   | 0,56   | 0,62                 | 0,83                 | 0,86                 | 0,92                  | 0,95                 | 1,91                  |

\*в числителе приведены абсолютные значения, в знаменателе – относительные.

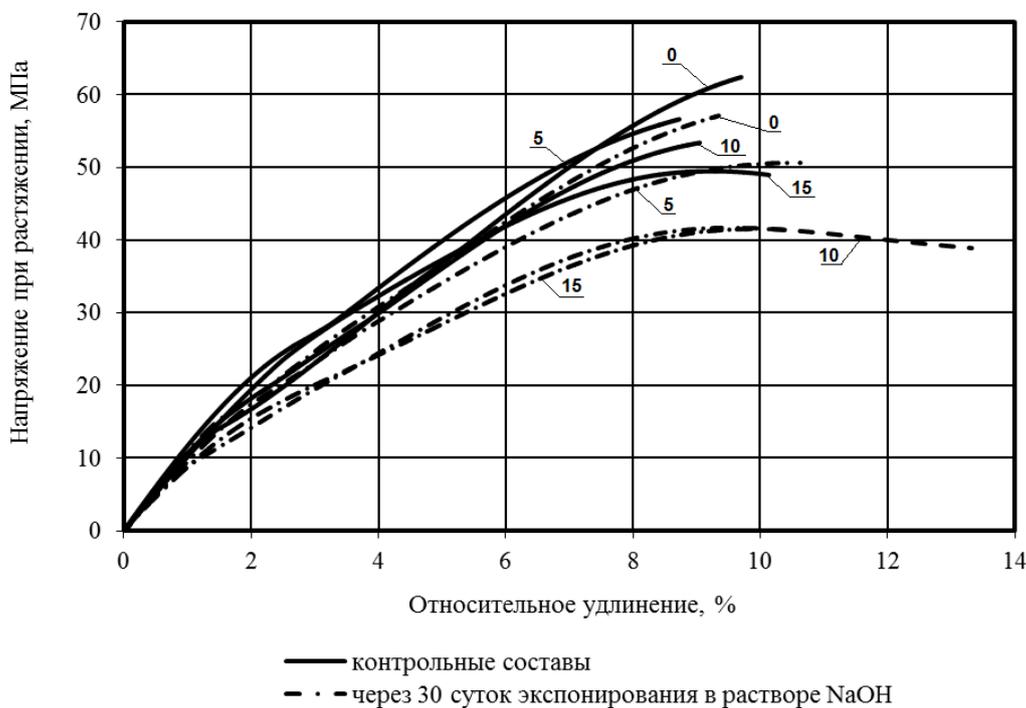


Рис. 2. Изменение кривых деформирования эпоксидных композитов при растяжении в зависимости от содержания активного разбавителя Этал-1 (0, 5, 10 и 15% от мас. связующего) для контрольных составов (сплошная линия) и через 30 суток экспонирования в растворе NaOH с pH=12,5 (штрихпунктирная линия).

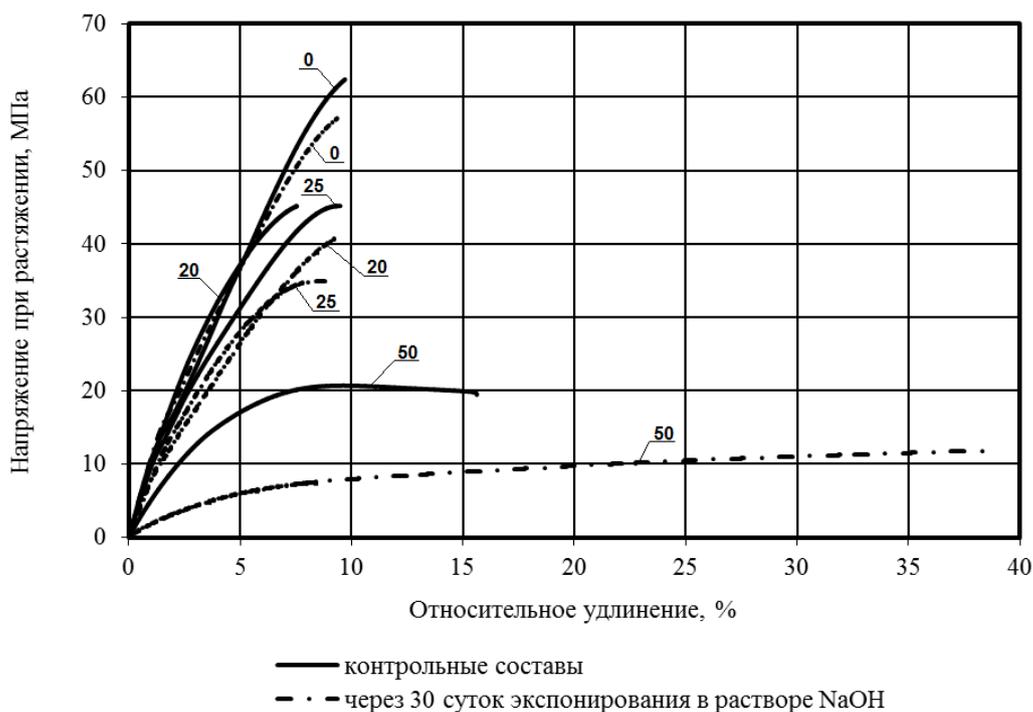


Рис. 3. Изменение кривых деформирования эпоксидных композитов при растяжении в зависимости от содержания активного разбавителя Этал-1 (0, 20, 25 и 50% от мас. связующего) для контрольных составов (сплошная линия) и через 30 суток экспонирования в растворе NaOH с pH=12,5 (штрихпунктирная линия)

Оценка щелочестойкости разработанных составов осуществлялась после экспонирования образцов в течение 30 суток в растворе NaOH с pH=12,5. Для всех исследуемых составов с содержанием исследуемого разбавителя до 25% наблюдается снижение предела прочности при растяжении, не превышающее 20% от первоначальной прочности (см. табл.). Введение 50% Этал-1 от массы смоляной части приводит к резкому снижению прочностных характеристик; относительная прочность к 30 суткам экспонирования по сравнению с контрольным составом составляет 0,57.

Изменение модуля упругости эпоксидных композитов, содержащих не более 25% Этал-1, в растворе NaOH составляет 10÷19% от первоначальной характеристики (см. табл.). Для состава с максимальным содержанием активного разбавителя относительный модуль упругости через 30 суток равен 0,45.

Анализ деформативных характеристик исследуемых композитов показал, что относительное удлинение при максимальной нагрузке для всех составов составляет 7÷10%. Экспонирование композитов с содержанием Этал-1 до 20% в растворе NaOH приводит к увеличению относительного удлинения на 3÷19%. Для композита с 50% содержанием активного разбавителя через 30 суток выдержки в щелочном растворе зафиксировано резкое увеличение относительного удлинения при растяжении, составляющее 30,49%.

Прирост массы образцов через 30 суток выдержки в растворе NaOH, повышающийся с увеличением содержания Этал-1 от 0 до 25%, составляет от  $0,56 \pm 0,95\%$  (см. табл.). Введение 50% активного разбавителя приводит к увеличению сорбционной способности почти в 3,5 раза, что свидетельствует о формировании более пористой структуры. Из анализа корреляционных зависимостей, представленных на рис. 4, видно, что чем меньше количество раствора щелочи продиффундировало в образец, тем выше химическая стойкость эпоксидных композитов (рис. 4).

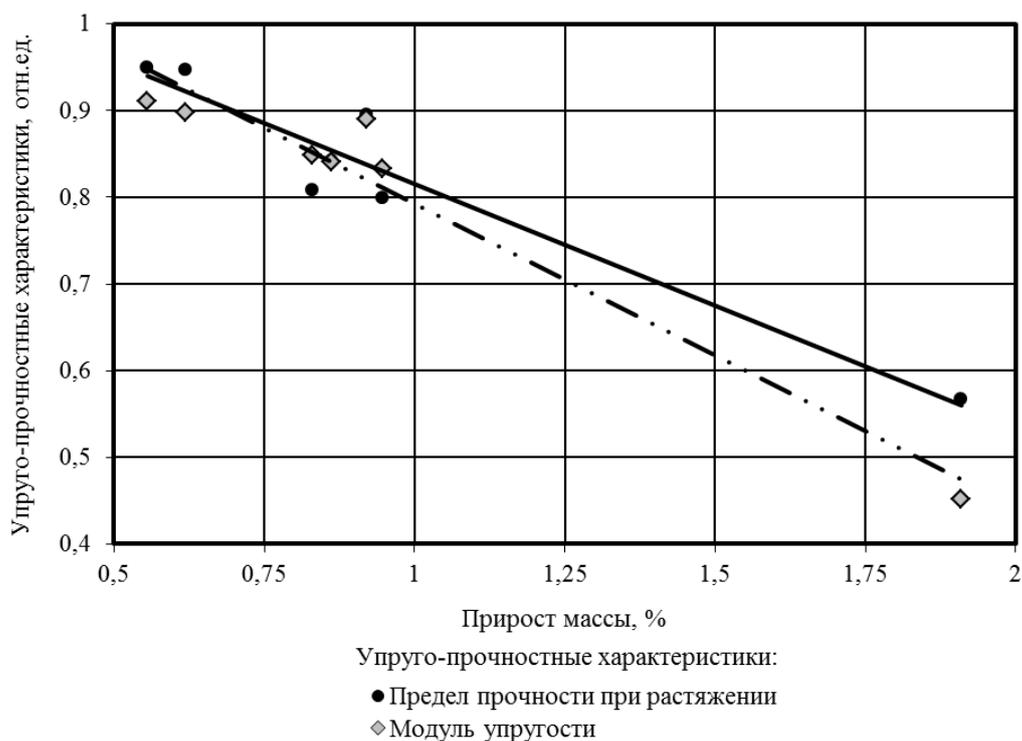


Рис. 4. Корреляционная зависимость между упруго-прочностными и сорбционными характеристиками эпоксидных композитов через 30 суток экспонирования в растворе NaOH с pH=12,5.

Анализ результатов проведенных исследований показал, что составы эпоксидных композитов с содержанием от 10 до 25% активного разбавителя Этал-1 от массы смоляной части обладают требуемой подвижностью, высокими упруго-прочностными характеристиками и стойкостью в растворе щелочи с pH=12,5, что позволяет использовать их в качестве покрытий и пропиток бетонных оснований.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Соломатов В. И., Селяев В. П., Соколова Ю. А. Химическое сопротивление материалов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М., 2001. – 384 с.
2. Чернин И. З., Смехов Ф. М., Жердев Ю. В. Эпоксидные полимеры и композиции. – М.: Химия, 1982. – 232 с.
3. Хозин В. Г. Усиление эпоксидных полимеров. – Казань: Дом печати, 2004. – 446 с.
4. Низина Т. А. Защитно-декоративные покрытия на основе эпоксидных и акриловых связующих. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2007. – 260 с.
5. Селяев В. П., Низина Т. А., Цыганов В. В. Разработка и применение функционально-градиентных покрытий для усиления и защиты железобетонных конструкций // Вестник ТГАСУ. – 2008. – № 3 (20). – С. 143–149.
6. Селяев В. П., Низина Т. А., Лазарев А. Л., Ланкина Ю. А., Цыганов В. В. Функционально-градиентные покрытия на основе полимерных связующих // Известия вузов. Строительство. – 2007. – № 7. – С. 36–40.
7. Селяев В. П., Низина Т. А., Низин Д. Р., Фомин Н. Е., Юдин В. А. Влияние алифатического разбавителя Этал-1 на упруго-прочностные характеристики и щелочестойкость эпоксидных композитов // Известия вузов. Строительство. – 2014. – № 8. – С. 14–19.
8. Молоков М. В., Низин Д. Р., Старцев О. В., Низина Т. А. Результаты экспериментальных исследований полимерных композиционных материалов на основе низковязких эпоксидных связующих // Огарёв-online. Раздел «Технические науки». – 2014. – Спецвыпуск. – Режим доступа: <http://journal.mrsu.ru/arts/rezultaty-eksperimentalnykh-issledovaniij-polimernykh-kompozicionnykh-materialov-na-osnove-nizkovyazkikh-ehpoksidnykh-svyazuyushhikh>.