

## ЗАВИСИМОСТЬ ЭКСПЛУАТАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВОДНЫХ АКРИЛОВЫХ ДИСПЕРСИЙ ОТ ИХ СОСТАВА

Полимерные дисперсии на основе акриловых мономеров широко востребованы в производстве лакокрасочных материалов благодаря экологичности (низкое содержание летучих органических соединений), технологичности нанесения и способности формировать покрытия с достаточно высокими физико-механическими показателями [1, 2]. Технологическая эффективность таких систем определяется устойчивостью дисперсии, реологическими характеристиками и способностью к пленкообразованию.

Данные параметры напрямую зависят от химического строения сополимера, природы эмульгирующей системы и наличия функциональных добавок [3–4].

Несмотря на обилие патентной литературы, посвященной синтезу акриловых латексов, систематические исследования, устанавливающие четкие корреляции между составом системы и конечными свойствами покрытий, представлены недостаточно.

Целью данной работы является изучение влияния состава сополимера и типа стабилизаторов на технологические характеристики водных акриловых дисперсий, а также на физико-механические и защитные свойства покрытий на их основе.

Объектами исследования служили акриловые дисперсии, синтезированные в лабораторных условиях методом эмульсионной сополимеризации. В качестве основных мономеров использовали метилметакрилат (ММА), бутилакрилат (БА) и гексилэтилакрилат (ГЭА). Стабилизацию системы осуществляли анионными ПАВ (додецилсульфат натрия (ДСNa), додецилбензолсульфонат натрия (ДБСNa)), неионогенным ПАВ – ОП-10, а также их бинарными смесями. Полимеризацию проводили при 85°C и скорости перемешивания 320–350 мин<sup>-1</sup>.

Для испытаний дисперсии выдерживали при 20±2°C не менее 7 суток. Образцы покрытий и свободных пленок получали с помощью аппликатора, нанося слой толщиной 100 и 350 мкм на стеклянные и фторопластовые подложки. Отверждение осуществляли в естественных условиях (20±2°C, относительная влажность 60%).

Контролируемые параметры определяли по стандартным методам: массовая доля нелетучих веществ (ГОСТ 31939), время высы-

хания до степени 3 (ГОСТ 19007), твердость по маятниковому прибору (ГОСТ 5233), водопоглощение (ГОСТ 33352). Реологические исследования проводили на ротационном вискозиметре «САР 2000+». Электрокинетический потенциал ( $\zeta$ -потенциал) измеряли методом электрофоретического светорассеяния на анализаторе «Zetasizer Nano-ZS». Механические испытания на растяжение выполняли на разрывной машине «Zwick Roell» (ГОСТ 14236).

Устойчивость полимерных дисперсий является ключевым фактором, определяющим их срок хранения и технологическую применимость. Адсорбируясь на поверхности частиц, ПАВ снижают межфазное натяжение и создают энергетический барьер, препятствующий коагуляции. В системах с ионной стабилизацией этот барьер имеет электростатическую природу и описывается теорией Дерягина–Ландау–Фервея–Овербека. В случае использования неионогенных ПАВ доминирует стерический механизм, обусловленный энтропийным и осмотическим отталкиванием адсорбционных слоев [6].

Для оценки электростатической составляющей устойчивости синтезированных дисперсий был измерен их  $\zeta$ -потенциал. Полученные данные демонстрируют, что природа сополимера (БА–ММА или ГЭА–ММА) не оказывает определяющего влияния на величину  $\zeta$ -потенциала, так как мономеры имеют близкое химическое строение и различаются лишь длиной углеводородного заместителя. Решающим фактором является состав эмульгирующей системы. С увеличением мольной доли ( $\alpha$ ) неионогенного ПАВ (ОП-10) в бинарной смеси с ДБСNa наблюдается закономерное снижение абсолютного значения  $\zeta$ -потенциала. Это связано с уменьшением доли анионного компонента, ответственного за формирование двойного электрического слоя. При значениях мольной доли НПАВ ( $\alpha$ ) до 0,4 включительно  $\zeta$ -потенциал остается в области высоких значений (от  $-64$  до  $-39$  мВ), что гарантирует агрегативную устойчивость системы. Дальнейшее увеличение  $\alpha$  приводит к резкому падению  $\zeta$ -потенциала ниже порога коагуляции ( $25$ – $30$  мВ) и появлению коагулюма. Использование только неионогенного эмульгатора ОП-10 ( $\alpha=1,0$ ) не позволяет получить стабильную систему – дисперсия расслаивается.

Введение неионогенного ПАВ в состав стабилизатора не только изменяет механизм стабилизации, добавляя стерическую составляющую, но и существенно влияет на реологию системы. Так, увеличение мольной доли ОП-10 до 0,5 снижает эффективную вязкость дисперсий на  $15$ – $20\%$  по сравнению с системами, стабилизированными только АПАВ. Наибольший технологический интерес представляет исполь-

зование смешанных эмульгаторов при  $\alpha = 0,2$ . В этом случае достигается оптимальный баланс: высокая устойчивость ( $\zeta$ -потенциал составляет  $-58$  мВ) сочетается с заметным снижением вязкости и, как следствие, улучшением текучести материала.

Следует отметить, что все синтезированные образцы показали хорошую пленкообразующую способность при естественных условиях с возможностью формирования гладких, бездефектных покрытий. Однако фактическое содержание сухого остатка в лабораторных образцах несколько ниже расчетного, что компенсируется образованием незначительного количества коагулюма (1,3–1,5 мас.%) и свидетельствует о необходимости оптимизации режима полимеризации.

Время высыхания покрытий – критически важный технологический параметр. Установлено, что наибольшее влияние на этот показатель оказывает содержание нелетучих веществ. С увеличением сухого остатка время высыхания закономерно сокращается. Состав сополимера (БА–ММА или ГЭА–ММА) практически не влияет на скорость испарения воды, так как отверждение происходит за счет физических процессов. Вместе с тем, природа стабилизатора вносит заметный вклад. Дисперсии, стабилизированные только ДСNa, высыхают на 10–15 минут быстрее по сравнению с системами, содержащими смесь ДБСNa и ОП-10. Вероятно, это связано с тем, что гидрофильные цепи неионогенного ПАВ формируют устойчивый гидратный слой, замедляющий коалесценцию частиц на завершающей стадии сушки.

Исследование физико-механических свойств показало, что твердость покрытий определяется преимущественно составом сополимера. Увеличение доли «жесткого» ММА повышает твердость, однако для обеспечения пленкообразования при комнатной температуре необходим баланс с «мягкими» акриловыми мономерами. Тип эмульгатора не оказывает значимого влияния на твердость, но существенно сказывается на водопоглощении и эластичности покрытий. Покрытия на основе дисперсий, содержащих смесь АПАВ и НПАВ, характеризуются на 4–5% меньшим водопоглощением по сравнению с образцами, стабилизированными только ионогенными ПАВ. Это объясняется меньшей гидрофильностью неионогенного компонента, остающегося в объеме пленки после ее формирования.

Механические испытания свободных пленок показали высокую эластичность синтезированных материалов. Пленки на основе сополимера БА–ММА демонстрируют относительное удлинение при разрыве, превышающее 350%, при прочности 5,7–6,3 МПа. Для сравнения, стирол-акриловый аналог (Acronal A 754) имеет более высокую

прочность (8,6 МПа), но крайне низкое удлинение (около 40%), что указывает на хрупкость материала.

Таким образом, синтезированные дисперсии сочетают удовлетворительную прочность с высокой эластичностью, что выгодно отличает их от ряда коммерческих продуктов.

Таким образом, в результате проведенных исследований установлено, что технологические и эксплуатационные свойства водных акриловых дисперсий определяются комплексным влиянием состава сополимера и, в значительной степени, природой стабилизирующей системы.

Экспериментально подтверждена эффективность использования бинарной смеси анионного (ДБСNa) и неионогенного (ОП-10) эмульгаторов при мольной доле последнего 0,2. Такая система обеспечивает высокую агрегативную устойчивость ( $\zeta$ -потенциал до  $-58$  мВ); снижение вязкости дисперсии на 8–10% по сравнению с чисто анионной стабилизацией; уменьшение водопоглощения покрытий на 4%; формирование эластичных пленок с удлинением при разрыве более 350%. Полученные закономерности могут быть использованы для целенаправленного синтеза пленкообразующих веществ с заданными реологическими и защитными характеристиками.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Казакова Е. Е., Скороходова О. Н. Водно-дисперсионные акриловые лакокрасочные материалы строительного назначения. Москва: ООО «Пэйнт-Медиа», 2003. – 136 с.
2. Baumstark R., Balk R. Water-based acrylic dispersions: application in architectural coatings. – Hannover : Vincentz Network, 2022. – 382 p.
3. Keddie J. L., Routh A. F. Fundamentals of Latex Film Formation: Processes and Properties. – Dordrecht : Springer, 2010. – 308 p.
4. Толмачев И. А., Петренко Н. А. Водно-дисперсионные краски: краткое руководство для инженеров-технологов. – Москва: Пэйнт-Медиа, 2010. – 106 с.
5. Chemistry and Technology of Emulsion Polymerisation / ed. A. van Herk. – Oxford: Blackwell, 2005. – 307 p.
6. Properties of dispersions and films made of copolymers obtained from acrylic, methacrylic and vinyl monomers / E. Makarewicz1 [et al.] // Polymer Bulletin. – 2024. – № 81. – P. 6851–6871.