

Для цитирования

Бободжонов Д.М. Анализ динамики сплошной среды в задаче повышения качества битумных эмульсий / III Научно-практическая конференция «Стандартизация: траектория науки», приуроченная ко Всемирному дню стандартов, Москва, 15 октября 2025 г. // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2025. № 6(87). С. 149–153.

УДК 336

АНАЛИЗ ДИНАМИКИ СПЛОШНОЙ СРЕДЫ В ЗАДАЧЕ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА БИТУМНЫХ ЭМУЛЬСИЙ

Бободжонов Д.М., аспирант, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», Россия, г. Иркутск

В статье представлен комплексный анализ динамики сплошной среды применительно к технологическим процессам производства битумных эмульсий. Показано, что предложенная математическая модель позволяет установить критические параметры процесса, влияющие на стабильность эмульсии при хранении, условную вязкость, остаток на сите и другие показатели качества согласно ГОСТ Р 58952.1–2020. Приведены результаты практической апробации, подтверждающие повышение стабильности показателей качества и экономическую эффективность внедрения.

Ключевые слова: битумная эмульсия, динамика сплошной среды, математическое моделирование, ГОСТ Р 58952.1–2020

ANALYSIS OF CONTINUUM DYNAMICS IN THE TASK OF IMPROVING THE QUALITY OF BITUMINOUS EMULSIONS

Bobodzhonov D.M., Postgraduate student, Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

This article presents a comprehensive analysis of continuum dynamics as applied to the technological processes of bituminous emulsion production. It is shown that the proposed mathematical model allows establishing critical process parameters affecting emulsion stability during storage, conditional viscosity, sieve residue, and other quality indicators according to GOST R 58952.1–2020. The results of practical testing are presented, confirming the improvement of quality indicator stability and economic efficiency of implementation.

Keywords: bituminous emulsion, continuum dynamics, mathematical modeling, GOST R 58952.1–2020.

Производство битумных эмульсий представляет собой сложный технологический процесс, требующий точного управления множеством взаимосвязанных параметров [2]. Согласно ГОСТ Р 58952.1–2020 «Дороги автомобильные общего пользования. Эмульсии битумные дорожные. Технические требования» битумные эмульсии должны соответствовать строгим требованиям по содержанию вяжущего с эмульгатором, условной вязкости, стабильности при хранении и другим показателям [5].

Анализ производственной практики показывает, что около 65% предприятий дорожной отрасли в России эксплуатируют многоэтажную инфраструктуру, где компоненты эмульсий транспортируются по сложным разветвленным системам трубопроводов [3]. Это создает специфические технологические риски:

- нестабильность дисперсной системы при транспортировке;
- изменение реологических характеристик компонентов;
- неоднородность смешивания в коллоидной мельнице;

- нарушение температурного режима;
- деградация поверхностно-активных веществ при механических воздействиях.

Битумная эмульсия представляет собой гетерогенную дисперсную систему, в которой битумное вяжущее диспергировано в водной фазе с образованием частиц размером 5–50 мкм [6]. Согласно определению ГОСТ Р 58952.1–2020 дорожная битумная эмульсия – это «однородная жидкость, получаемая на битумном вяжущем путем его диспергирования в водном растворе эмульгатора» [5].

Стабильность такой системы обеспечивается адсорбционно-сольватным механизмом, где молекулы эмульгатора образуют защитную оболочку вокруг частиц битума, препятствуя их коалесценции [4]. В модели учитываются также термические, химические и механические воздействия, реализуемые в реальных производственных условиях, а результаты моделирования валидируются экспериментальными данными. Критическими факторами стабильности являются:

- размер и распределение частиц дисперсной фазы;
- концентрация и тип эмульгатора;
- pH водной фазы;
- температурные условия хранения и транспортировки;
- механические воздействия на систему.

Для анализа динамики сплошной среды в процессе производства битумных эмульсий нами была разработана комплексная двухэтапная модель, схематически представленная на рис. 1 [1]. Данная модель позволяет всесторонне проанализировать гидродинамические и физико-химические процессы, происходящие при производстве эмульсий.

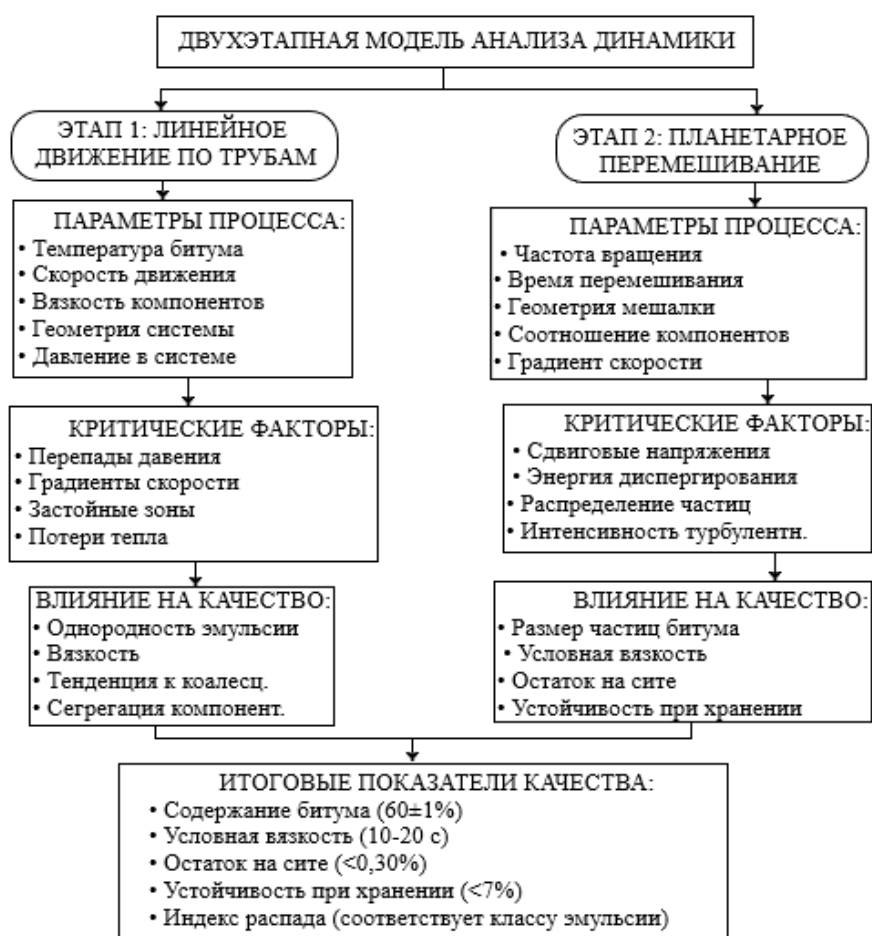


Рис. 1. Двухэтапная модель анализа динамики сплошной среды при производстве битумных эмульсий с указанием критических параметров процесса и их влияния на показатели качества

Как видно из рис. 1, разработанная нами модель включает два взаимосвязанных этапа. На первом этапе анализируется линейное движение по трубам с учетом таких параметров процесса, как температура битума, скорость движения, вязкость компонентов и геометрия системы [3]. Критическими факторами на этом этапе являются перепады давления, градиенты скорости, застойные зоны и потери тепла, что в итоге влияет на однородность эмульсии, вязкость, тенденцию к коалесценции и сегрегацию компонентов.

На втором этапе рассматривается планетарное перемешивание с контролем частоты вращения, времени перемешивания, геометрии мешалки и соотношения компонентов [6]. Здесь критическими факторами выступают сдвиговые напряжения, энергия диспергирования, распределение частиц и интенсивность турбулентности, оказывающие прямое влияние на размер частиц битума, условную вязкость, остаток на сите и устойчивость при хранении.

Итоговые показатели качества, представленные в нижней части рис. 1, соответствуют требованиям ГОСТ Р 58952.1–2020: содержание битума ($60 \pm 1\%$), условная вязкость (10–20 с), остаток на сите ($<0,30\%$) и устойчивость при хранении ($<7\%$) [5].

Как показано на рис. 2, температура битума является одним из критических параметров, влияющих на качество конечной эмульсии. Слишком низкая температура приводит к недостаточному диспергированию, в то время как слишком высокая вызывает деструкцию поверхностно-активных веществ и старение битума. Оптимальный температурный диапазон составляет $150\text{--}160^\circ\text{C}$, что обеспечивает оптимальную дисперсность системы.

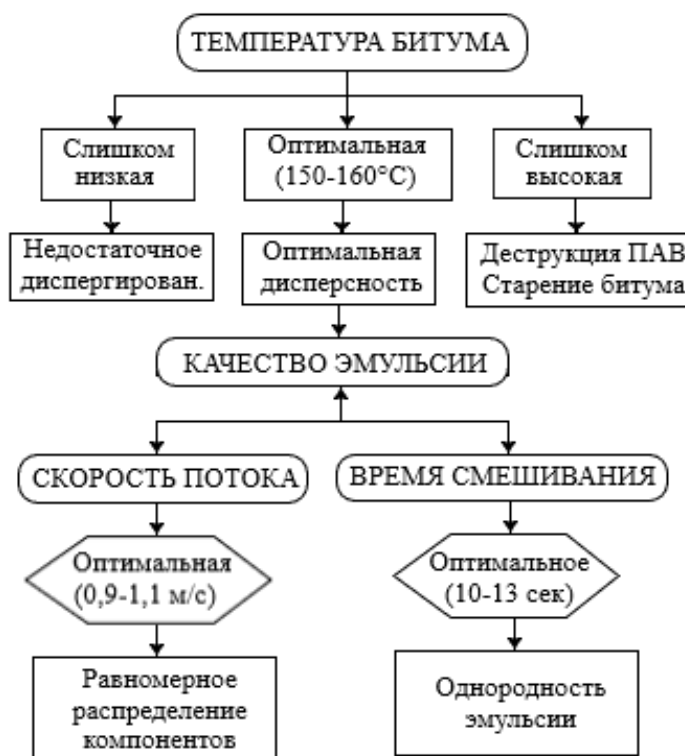


Рис. 2. Влияние ключевых технологических параметров на качественные характеристики битумных эмульсий: температурные режимы, скорость потока и время смешивания

Кроме того, рис. 2 наглядно демонстрирует значимость таких параметров, как скорость потока и время смешивания. Для обеспечения равномерного распределения компонентов оптимальная скорость потока должна составлять 0,9–1,1 м/с. Оптимальное время смешивания в диапазоне 10–13 сек гарантирует однородность эмульсии без риска преждевременной деструкции частиц или недостаточного диспергирования.

Согласно ГОСТ Р 58952.1–2020 битумные эмульсии классифицируются по трем основным признакам [5]:

1. По скорости распада при смешивании с минеральными материалами:

- Быстрораспадающиеся (БК) – индекс распада 60–200
- Среднераспадающиеся (СК) – индекс распада 201–260
- Медленнораспадающиеся (МК) – индекс распада более 260

2. По химической природе эмульгатора:

- Катионные (К) – на основе катионных ПАВ
- Анионные (А) – на основе анионных ПАВ

3. По наличию модификации:

- Битумные (ЭБД) – без полимерных добавок
- Битумно-полимерные (ЭБПД) – с полимерными добавками

Предложенная модель была апробирована на производстве битумных эмульсий.

Результаты оптимизации производственных параметров представлены в таблице:

Сравнительные показатели качества битумных эмульсий до и после оптимизации технологического процесса в соответствии с требованиями ГОСТ Р 58952.1–2020

Показатель	До оптимизации	После оптимизации	Требования ГОСТ
Содержание битума, %	58–62	59.5–60.5	60 ± 1
Условная вязкость при 20° С, с	12–18	14–16	10–20
Остаток на сите 0,14 мм, %	0.25–0.35	0.18–0.22	не более 0.30
Устойчивость при хранении (7 дней), %	5–8	3–5	не более 7

Заключение

Анализ динамики сплошной среды в задаче повышения качества битумных эмульсий позволяет научно обоснованно подойти к оптимизации технологических процессов их производства. Предложенная двухэтапная модель, детально представленная на рис. 1, предоставляет инструмент для прогнозирования влияния параметров процесса на качественные характеристики и установления критических контрольных точек.

Как наглядно продемонстрировано на рис. 2, температурный режим, скорость потока и время смешивания являются ключевыми факторами, определяющими качество битумных эмульсий. Оптимизация данных параметров позволяет значительно повысить стабильность производимой продукции и обеспечить ее соответствие требованиям ГОСТ Р 58952.1–2020.

Практическая апробация модели подтверждает ее высокую эффективность для решения прикладных задач повышения качества битумных эмульсий и оптимизации производственных процессов в дорожно-строительной отрасли [1, 7].

Список литературы

1. Лончих П.А., Бободжонов Д.М., Лившиц И.И., Буньковский В.И., Зырянов И.В., Лончих Н.П. Разработка алгоритма математической модели технологического процесса на основе движения сплошной среды // Известия ТулГУ. Технические науки. 2025. Вып. 8. С. 44–45. DOI: 10.24412/2071-6168-2025-8-44-45.
2. ГОСТ 22245–90 Битумы нефтяные дорожные вязкие. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 1990.
3. ГОСТ Р 52128–2003 Эмульсии битумные дорожные. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2003.
4. Йоханнес К., Хельмут Р., Вернер Л., Эдгар К., Хельга Р., Йоахим П., Зигфрид П., Эдуард В., Вильхельм Ф. Способ получения высокостабильных битумных эмульсий // Известия ТулГУ. Технические науки. 2025. Вып. 8. С. 44–45.
5. ГОСТ Р 58952.1–2020 Дороги автомобильные общего пользования. Эмульсии битумные дорожные. Технические требования. – М.: Стандартинформ, 2020.
6. Пособие по приготовлению и применению битумных дорожных эмульсий (к СНиП 3.06.03-85) / СоюздорНИИ. – М.: Стройиздат, 1999. – 49 с.
7. Сверчков А.А., Клейменов О.В., Ромаденкина С.Б. Разработка состава стабильной катионной битумной эмульсии для дорожного строительства // Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского. 2024. С. 78–85.

References

1. Lontsikh P.A., Bobodzhonov D.M., Livshits I.I., Bunkovsky V.I., Zyryanov I.V., Lontsikh N.P. Development of an algorithm for a mathematical model of the technological process based on the continuum dynamics // *Izvestiya TulSU. Technical Sciences*. 2025. Issue 8. pp. 44-45. DOI: 10.24412/2071-6168-2025-8-44-45
2. GOST 22245–90. Viscous road petroleum bitumens. Technical specifications. – M.: Standartinform, 1990.
3. GOST R 52128–2003. Road bitumen emulsions. Technical specifications. – M.: Standartinform, 2003.
4. Johannes K., Helmut R., Werner L., Edgar K., Helga R., Joachim P., Siegfried P., Eduard V., Wilhelm F. Method for obtaining highly stable bitumen emulsions // *Izvestiya TulSU. Technical Sciences*. 2025. Issue 8. Pp. 44–45.
5. GOST R 58952.1–2020. Automobile roads of general use. Road bitumen emulsions. Technical requirements. – M.: Standartinform, 2020.
6. Manual for the preparation and application of bitumen road emulsions (to SNiP 3.06.03-85) / SoyuzdorNII. – M.: Stroyizdat, 1999. – 49 p.
7. Sverchkov A.A., Kleimenov O.V., Romadenkina S.B. Development of a composition of stable cationic bitumen emulsion for road construction // *Saratov State University named after N.G. Chernyshevsky*. 2024. Pp. 78–85.