
**СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ
(ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ)
BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS (TECHNICAL)**

УДК 691.16
DOI 10.48612/ntp/pk3u-8xxz-ntft

**ВЛИЯНИЕ ВОЛОКНИСТЫХ ДОБАВОК НА РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
БИТУМНЫХ ГИДРОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

М. В. АКУЛОВА^{1, 2}, А. А. САФОНОВ²

¹ Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново

² ФГБОУ ВО Ивановский государственный политехнический университет,
Российская Федерация, г. Иваново
E-mail: m_akulova@mail.ru a.safonov95@mail.ru

Цель исследования – оценка влияния волокнистых добавок (стеклофибры и базальтофибры) на реологические свойства битума марки БН-90/10. Актуальность работы обусловлена тем, что использование некачественной битумной гидроизоляции вследствие высокой горючести битума повышает пожарные риски при эксплуатации строительных конструкций. Экспериментальные исследования выполнены с применением стандартизованных методик, включающих определение температуры размягчения методом «кольцо и шар» и оценку растяжимости (дуктильности) на дуктилометре. Проведено армирование битума стекло- и базальтовой фиброй, проанализировано их влияние на реологические характеристики гидроизоляционного материала. Установлено, что модификация битума волокнистыми наполнителями способствует формированию более термоустойчивой и деформативно-прочной структуры. Выявлено, что характер улучшения свойств зависит от типа и концентрации армирующего компонента: базальтовая фибра в большей степени повышает теплостойкость, тогда как стеклофибра при оптимальном содержании обеспечивает наибольший прирост эластичности. Полученные результаты подтверждают перспективность применения волокнистых добавок для создания долговечных, термостойких и герметичных гидроизоляционных покрытий. Использование таких материалов снижает риск ухудшения пожарной обстановки при возгорании, что способствует повышению общего уровня пожарной безопасности объектов гражданской защиты.

Ключевые слова: пожарная опасность, волокнистые добавки, битум, гидроизоляция, реологические свойства.

**INFLUENCE OF FIBER ADDITIVES ON THE RHEOLOGICAL PROPERTIES
OF BITUMEN WATERPROOFING MATERIALS**

M. V. AKULOVA^{1, 2} A. A. SAFONOV²

¹ Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education
«Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation
for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo

² Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education
«Ivanovo State Polytechnic University»,
Russian Federation, Ivanovo
E-mail: m_akulova@mail.ru a.safonov95@mail.ru

The aim of the study is to assess the influence of fiber additives (glass fiber and basalt fiber) on the rheological properties of BN-90/10 grade bitumen. The relevance of the work is due to the fact that the use of low-quality bitumen waterproofing, owing to the high combustibility of bitumen, increases fire risks during the operation of building structures. Experimental studies were carried out using standardized methods, including determination of the softening point by the ring-and-ball method and evaluation of ductility using a ductilometer.

Bitumen was reinforced with glass and basalt fibers, and their effect on the rheological characteristics of the waterproofing material was analyzed. It was found that modification of bitumen with fibrous fillers contributes to the formation of a more thermally stable and deformation-resistant structure. The nature of property improvement depends on the type and concentration of the reinforcing component: basalt fiber increases heat resistance to a greater extent, while glass fiber at optimal content provides the greatest increase in elasticity. The obtained results confirm the potential of using fiber additives to create durable, heat-resistant, and hermetic waterproofing coatings. The use of such materials reduces the risk of deterioration of the fire situation in case of ignition, which contributes to improving the overall level of fire safety of civil protection facilities.

Keywords: fire hazard, fibrous additives, bitumen, waterproofing, rheological properties.

Введение

Битум остаётся одним из наиболее востребованных материалов для гидроизоляции благодаря своим уникальным свойствам. Он широко применяется в строительстве при устройстве гидроизоляционных покрытий, прокладке дорог, а также в нефтегазовом секторе. Однако битум обладает рядом недостатков: он подвержен растрескиванию, разрушению под действием ультрафиолетового излучения, имеет недостаточную эластичность и, что особенно важно с точки зрения гражданской защиты, относится к горючим материалам. Низкое качество битумной гидроизоляции вследствие горючести битума повышает пожарные риски при эксплуатации строительных конструкций.

Перспективным направлением снижения этих рисков является модификация битума негорючими волокнистыми добавками, которые армируют его структуру и улучшают физико-механические и реологические характеристики [1–5].

В связи с этим целью исследования стала оценка влияния волокнистых добавок (стеклофибры и базальтофибры) на реологические свойства битума марки БН-90/10. Для достижения цели определяли температуру размягчения методом «кольцо и шар» и растяжимость (дуктильность) на дуктилометре для чистого и армированного битума.

Материалы и методы исследования

В работе исследовали битум марки БН 90/10, а также образцы битума, модифицированные стеклянной («Темиора») и базальтовой («Полипласт») фиброй. Волокна вводили в битум, предварительно переведенный в жидкую фазу. Физико-механические испытания проводили в соответствии с требованиями действующих нормативных документов, распространяющихся на нефтяные строительные битумы.

Определение температуры размягчения. Температуру размягчения битума определяли методом «кольцо и шар» по ГОСТ 11506-73¹. Суть метода заключается в фиксации температуры, при которой битум, помещенный в латунное кольцо заданных размеров, в процессе нагрева размягчается настолько, что под весом стального шарика (диаметром 9,525 мм и массой 3,50 г) выдавливается из кольца и касается контрольной пластины.

Подготовка к испытанию включала следующие этапы. Пробу битума при наличии влаги обезвоживали путем осторожного нагрева до температуры на 80–100 °С выше ожидаемой точки размягчения (но не ниже 120 °С и не выше 180 °С), после чего фильтровали и тщательно перемешивали. Подготовленный битум заливали с небольшим избытком в два чистых кольца, установленных на пластину, покрытую смесью талька с глицерином для предотвращения прилипания. После охлаждения (режим зависит от типа битума) излишки материала срезали нагретым ножом вровень с краями колец.

Собранный штатив с кольцами помещали в стеклянный сосуд (баню), заполненный жидкостью. Выбор жидкости зависел от ожидаемой температуры размягчения: при значениях ниже 80 °С использовали воду с начальной температурой 5 °С; в диапазоне 80–110 °С – смесь воды с глицерином (1:2) с начальной температурой 34 °С; выше 110 °С – чистый глицерин, нагретый до 34 °С. После 15-минутной выдержки на каждый образец помещали шарик и начинали нагрев бани со скоростью 5 °С в минуту при постоянном перемешивании жидкости. За результат испытания принимали среднее арифметическое значение температур, при которых шарик продавил битум в каждом из двух колец.

Определение растяжимости (дуктильности). Растяжимость (дуктильность) битума определяли по ГОСТ 11505-75². Показатель характеризует максимальную длину (в см), на

¹ ГОСТ 11506-73. Битумы нефтяные. Метод определения температуры размягчения по кольцу и шару. М.: Стандартинформ, 2008.

² ГОСТ 11505-75. Битумы нефтяные. Метод определения растяжимости. М.: Стандартинформ, 2008.

которую может растянуться без разрыва стандартный образец битума в форме «восьмерки» при заданной температуре и скорости раздвижения формы.

Предварительно обезвоженный и процеженный битум заливали тонкой струей в три латунные формы, установленные на полированную пластину, обработанную глицерин-тальковой смесью. Заливку вели с небольшим избытком. Формы выдерживали на воздухе при комнатной температуре в течение 30–40 минут, после чего излишки застывшего битума среза-ли нагретым острым ножом вровень с краями.

Далее формы с битумом помещали в водяную баню с температурой испытания (25 °C или 0 °C) на 1 час. По истечении этого времени формы закрепляли в дуктилометре. Ванну прибора заполняли водой с требуемой температурой и включали механизм раздвижения салазок со скоростью 5 см/мин. В момент разрыва

битумной нити фиксировали ее длину по шкале прибора.

Для каждого состава проводили три параллельных определения. За окончательный результат принимали среднее арифметическое значение. Результат округляли до 0,1 см, если растяжимость составляла менее 10 см, и до целого числа, если она равнялась 10 см или превышала это значение.

Результаты исследования

На первом этапе работы были проведены контрольные испытания чистого битума марки БН 90/10 (без добавок). Полученные результаты представлены в табл. 1.

На следующем этапе исследовали образцы битума, модифицированные стеклянной и базальтовой фиброй. Добавки вводили в количествах 5, 1 и 0,5 г на 100 г битума. Результаты испытаний приведены в табл. 2.

Таблица 1. Результаты испытания чистого битума

Количество битума, г	Добавка	Количество добавки, г	Температура размягчения по методу «Кольцо и шар», °C	Растяжимость (дуктильность), см
100	-	-	92	1,6

Таблица 2. Результаты испытаний битума, модифицированного волокнистыми добавками

Количество битума, г	Добавка	Количество добавки, г	Температура размягчения по методу «Кольцо и шар», °C	Растяжимость (дуктильность), см
100	Базальто-фибра	5,0	110	4,1
100	Стеклофибра	5,0	105	3,4
100	Базальто-фибра	1,0	107	4,2
100	Стеклофибра	1,0	108	3,5
100	Базальто-фибра	0,5	104	4,4
100	Стеклофибра	0,5	105	4,8

Анализ полученных данных показал, что введение волокнистых наполнителей приводит к улучшению реологических свойств битума. На рис. 1 представлено сравнение температуры размягчения чистого и модифицированного битума.

Установлено, что температура размягчения модифицированного битума возрастает более чем на 12 °C относительно контрольного. Наибольшее значение температуры размягчения (110 °C) зафиксировано для образца с

максимальным содержанием базальтовой фибры (5 г).

Положительная динамика также наблюдалась при оценке дуктильности (рис. 2).

Максимальное значение растяжимости (4,8 см), более чем в три раза превышающее показатель чистого битума (1,6 см), достигнуто при введении 0,5 г стеклянной фибры.

Анализ полученных данных позволяет выявить механизмы, определяющие различный характер влияния волокнистых добавок на реологические свойства битума.

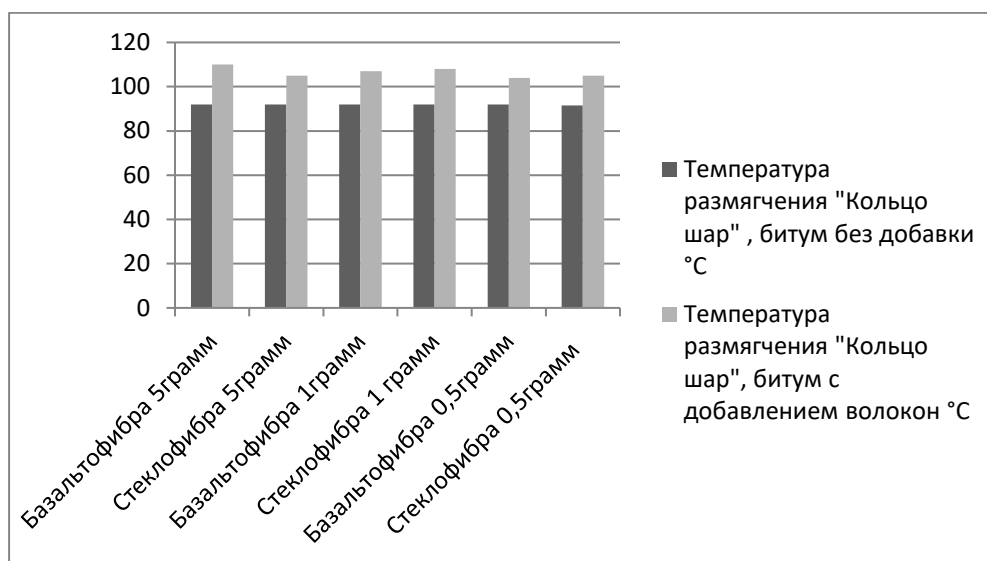


Рис. 1. Температура размягчения чистого битума и битума с добавлением волокон различного типа и концентрации

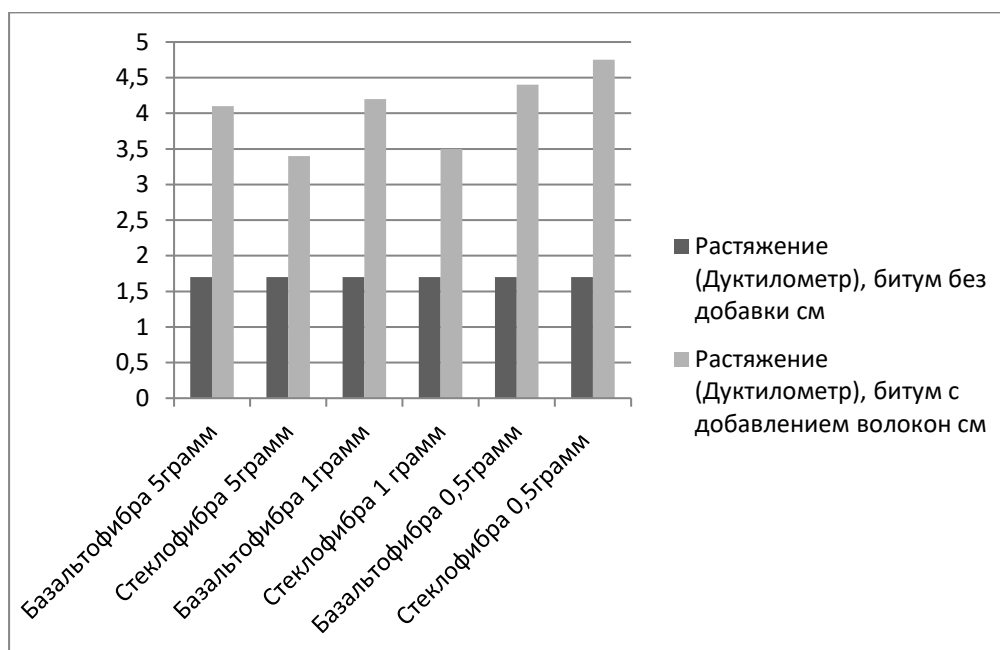


Рис. 2. Растяжимость чистого битума и битума с добавлением волокон различного типа и концентрации.

Установлено, что максимальная растяжимость достигается при минимальной концентрации стеклянной фибры (0,5 г). Это объясняется равномерным распределением волокон в битумной матрице без образования агломератов, что обеспечивает армирование на микроуровне без ограничения высокоэластической подвижности материала. Увеличение концентрации стекловолокна приводит к сближению

волокон, формированию локальных агломератов и снижению деформативности.

В отличие от стекловолокна, базальтовая фибра проявляет прямую корреляцию между концентрацией и теплостойкостью. Максимальный прирост температуры размягчения (на 18 °C) зафиксирован при максимальной дозировке (5 г). Это обусловлено высокой адгезией базальтовых волокон к битуму и формированием объемного жесткого каркаса, который

ограничивает подвижность битумной фазы, особенно при повышенных температурах.

Различия в поведении волокон связаны с их геометрическими характеристиками и адгезионными свойствами: стеклофибра при малых концентрациях обеспечивает равномерное армирование без потери эластичности, тогда как базальтовая фибра, обладая более развитой поверхностью и высокой адгезией, эффективно повышает теплостойкость при высоких дозировках.

На основании анализа экспериментальных данных (табл. 1, 2) можно сформулировать следующие основные выводы:

Повышение теплостойкости. Введение как стеклянных, так и базальтовых волокон способствует увеличению температуры размягчения битума. Наибольший абсолютный прирост (на 18 °С относительно чистого битума) зафиксирован для композиции, содержащей 5 г базальтовой фибры на 100 г битума. Это свидетельствует о формировании более жесткой и термоустойчивой структуры материала.

Улучшение деформативных характеристик. Модификация битума волокнами положительно влияет на его растяжимость. Наилучший показатель дуктильности (4,8 см) достигнут при введении минимального количества стеклянной фибры (0,5 г). Полученный результат указывает на то, что даже малое количество равномерно распределенных волокон способно армировать материал на микроуровне, повышая его устойчивость к растяжению и замедляя рост трещин.

Зависимость эффекта от типа и концентрации наполнителя. Характер улучшения свойств определяется видом волокна и его содержанием. Базальтовая фибра проявляет себя как более эффективный модификатор для повышения температуры размягчения, особенно при высоких дозировках. Стеклянная

фибра в малой концентрации (0,5 г) обеспечивает наилучший прирост эластичности. Это позволяет варьировать состав композиции в зависимости от требуемых эксплуатационных свойств: для объектов с высокими температурными нагрузками предпочтительно использование базальтовой фибры, а для конструкций, подверженных деформациям, – оптимизированных составов со стеклянной фиброй.

Заключение

Целью исследования являлась оценка влияния волокнистых добавок (стеклофибры и базальтофибры) на реологические свойства битума марки БН-90/10. Для её достижения решены следующие задачи: проведено армирование битума двумя типами волокон в различных концентрациях, определены температура размягчения (методом «кольцо и шар») и растяжимость (дуктильность) чистого и модифицированного битума, а также проанализирован характер влияния добавок в зависимости от их типа и содержания.

В результате экспериментально подтверждено, что модификация битума волокнистыми наполнителями способствует формированию более термоустойчивой и деформативно-прочной структуры. Установлено, что базальтовая фибра в максимальной дозировке (5 г на 100 г битума) обеспечивает наибольший прирост температуры размягчения (на 18 °С), а стеклянная фибра при минимальной концентрации (0,5 г на 100 г битума) даёт максимальное увеличение растяжимости (более чем в 3 раза). Выявлено, что характер улучшения свойств зависит от типа и концентрации армирующего компонента, что позволяет варьировать состав композиции под конкретные эксплуатационные условия.

Список литературы

1. Сафонов А. А., Попов А. В., Акулова М. В. Проблемы устройства гидроизоляции строительных объектов // Актуальные экологические проблемы современных городов: сборник материалов II Национальной научно-практической конференции с международным участием. Иваново: Ивановский государственный политехнический университет, 2025. С. 138–140.

2. Армирование битума базальтовым волокном / А. А. Сафонов, М. В. Акулова, А. В. Попов [и др.] // Качество жизни: архитектура, строительство, транспорт, образование: сборник материалов III Международной научно-практической конференции. Иваново:

Ивановский государственный политехнический университет, 2025. С. 301–304.

3. Свойства базальтового волокна и применение его в строительстве / А. А. Сафонов, М. В. Акулова, А. В. Попов [и др.] // Молодые ученые – развитию Национальной технологической инициативы (ПОИСК). 2025. № 1. С. 309–311.

4. Сафонов А. А., Попов А. В., Акулова М. В. Процесс модификации битума полимерными вяжущими веществами // Качество жизни: архитектура, строительство, транспорт, образование: сборник материалов Международной научно-практической конференции. Иваново: Ивановский государственный политехнический университет, 2024. С. 174–175.

5. Сафонов А. А., Попов А. В., Акулова М. В. Улучшение свойств битума с помощью полимерных вяжущих веществ // Молодые ученые – развитию Национальной технологической инициативы (ПОИСК). 2024. № 1. С. 547–549.

References

1. Safonov A. A., Popov A. V., Akulova M. V. Problemy ustrojstva gidroizolyacii stroitel'nyh ob'ektov [Problems of waterproofing construction projects]. *Aktual'nye ekologicheskie problemy sovremennyh gorodov: sbornik materialov II Nacional'noj nauchno-prakticheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem*. Ivanovo: Ivanovskij gosudarstvennyj politekhnicheskij universitet, 2025. Pp. 138–140.

2. Armirovanie bituma bazal'tovym voloknom [Reinforcement of bitumen with basalt fiber] / A. A. Safonov, M. V. Akulova, A. V. Popov [et al.]. *Kachestvo zhizni: arhitektura, stroitel'stvo, transport, obrazovanie: sbornik materialov III Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy*

konferencii. Ivanovo: Ivanovskij gosudarstvennyj politekhnicheskij universitet, 2025. Pp. 301–304.

3. Svojstva bazal'tovogo volokna i primeneniye ego v stroitel'stve [Properties of basalt fiber and its application in construction] / A. A. Safonov, M. V. Akulova, A. V. Popov [et al.]. *Molodye uchenye – razvitiyu Nacional'noj tekhnologicheskoy iniciativy (POISK)*, 2025, issue 1, pp. 309–311.

4. Safonov A. A., Popov A. V., Akulova M. V. Process modifikacii bituma polimernymi vyazhushchimi veshchestvami [The process of modifying bitumen with polymer binders]. *Kachestvo zhizni: arhitektura, stroitel'stvo, transport, obrazovanie: sbornik materialov Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii*. Ivanovo: Ivanovskij gosudarstvennyj politekhnicheskij universitet, 2024. Pp. 174–175.

5. Safonov A. A., Popov A. V., Akulova M. V. Uluchsheniye svojstv bituma s pomoshch'yu polimernyh vyazhushchih veshchestv [Improving the properties of bitumen using polymer binders]. *Molodye uchenye – razvitiyu Nacional'noj tekhnologicheskoy iniciativy (POISK)*, 2024, issue 1, pp. 547–549.

Акулова Марина Владимировна

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
ФГБОУ ВО Ивановский государственный политехнический университет,
Российская Федерация, г. Иваново
доктор технических наук, профессор
E-mail: m_akulova@mail.ru

Akulova Marina Vladimirovna

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education
«Ivanovo State Polytechnic University»,
Russian Federation, Ivanovo

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy
of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies
and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo

Doctor of Technical Sciences, Professor

E-mail: m_akulova@mail.ru

Сафонов Александр Андреевич

ФГБОУ ВО Ивановский государственный политехнический университет,
Российская Федерация, г. Иваново
Аспирант

E-mail: a.safonov95@mail.ru

Safonov Aleksandr Andreevich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education
«Ivanovo State Polytechnic University»,
Russian Federation, Ivanovo

Graduate student

E-mail: a.safonov95@mail.ru