

УДК 621.1.016.4: 536.24

## ИССЛЕДОВАНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БИТУМНЫХ КОМПОЗИЦИЙ

**П.В. КОВАЛЕНКО**

(Полоцкий государственный университет)

Проведены исследования общих закономерностей структурно-реологического состояния битума марки БН 90/10 и композиций на его основе. Определены зависимости влияния добавок низкомолекулярного полиэтилена (НМПЭ) на изменение реологических свойств битума марки БН 90/10.

Установлено следующее: добавка полиэтилена к битуму не более 1 % от его массы улучшает его свойства; битум марки БН 90/10 и битумно-полимерные композиции с содержанием низкомолекулярного полиэтилена 3 и 5 % масс в области температур ниже температуры размягчения имеют неньютоновский характер; температура перехода из неньютоновского состояния в ньютоновское повышается с увеличением содержания полимера в битумно-полимерной композиции, сдвиговые характеристики материалов при этом ухудшаются.

**Введение.** Высоковязкие нефтепродукты, содержащие парафины и асфальтосмолистые вещества, в большинстве случаев относятся к неньютоновским жидкостям. Отклонение от закона Ньютона при течении таких нефтепродуктов по трубопроводу было впервые установлено в 20-х годах прошлого столетия [1]. Изучением течения неньютоновских жидкостей по трубопроводам занимались Г.И. Фукс [2], В.И. Черников [3, 4], В.Е. Губин и В.В. Губин [5], Ю.В. Скрипников [6], С. Cawley [7], В.М. Агапкин и В.А. Юфин [8], Б.В. Веденеев и Н.В. Михайлов [9], а также другие ученые.

При расчетах течения неньютоновских жидкостей (битумов, нефтей, мазутов) по трубопроводам различного назначения использовались различные реологические модели нелинейно-вязких жидкостей. Модель Шведова – Бингама [10, 11] хорошо описывает течение нефтей с высоким содержанием парафина:

$$\tau = \tau_0 + \mu_p \gamma. \quad (1)$$

Для нефтей с преобладанием асфальтосмолистых структур, приводящих зависимость  $\tau$  от градиента скорости к нелинейной, характерной для полимерных жидкостей, используют модель Бакли – Гершеля [12, 13]:

$$\tau = \tau_0 + \kappa \gamma^m. \quad (2)$$

При наличии в нефти парафинов и асфальтосмолистых отложений кривая течения таких жидкостей аппроксимируется моделью Шульмана [14], являющейся обобщением моделей Шведова – Бингама и Бакли – Гершеля:

$$\frac{1}{\tau^n} = \frac{1}{\tau_0^n} + (\eta_p \cdot \gamma)^m. \quad (3)$$

Описанные зависимости позволяют рассчитать течение твердых высокозастывающих нефтепродуктов в подогретом состоянии по технологическим трубопроводам упаковочных установок.

Главной проблемой при использовании полимерных упаковочных материалов для горячих продуктов является температура плавления пленок и разработка методов охлаждения их в процессе заполнения продуктом, имеющим температуру выше температуры плавления пленок. При разработке необходимой технологии и оборудования для упаковывания большое влияние на обеспечение производительности установки оказывает выбор температурного режима.

Вопросы охлаждения битумов и нефтей в трубопроводах и транспортных емкостях рассматривались в работах В.И. Черникова [3, 15], В.Е. Губина [5], Б.В. Веденеева [9]. При охлаждении до температуры застывания битум начинает образовывать корку на стенках трубопровода, увеличивая сопротивление трубопроводов и время его слива, что в свою очередь снижает производительность установок по упаковыванию высокозастывающих нефтепродуктов.

Несовершенство используемых в промышленности способов упаковывания и перевозки этих продуктов обусловлено применяемой тарой.

Особую привлекательность в качестве упаковочного материала для упаковывания высокозастывающих нефтепродуктов представляют полимерные материалы, в частности полиэтиленовая плёнка, так как её использование позволяет решить многие проблемы.

По разработанной технологии при потреблении битум можно закладывать в котёл вместе с тарой, так как добавка полиэтилена улучшает качество битумных мастик, при этом практически исключается загрязнение окружающей среды вредными парами и твердыми отходами, отсутствуют потери битума на

всех стадиях транспортного процесса, значительно снижаются затраты ручного труда. Добавка полиэтилена в битум изменяет многие его свойства, в том числе реологические.

**Постановка задачи.** Реологические свойства битумов и битумно-полимерных композиций при расплаве полимера в битуме определялись методами консистометрии и вискозиметрии в интервале температур 70...200 °С.

Для выяснения общих закономерностей структурно-реологического состояния исследуемых материалов по экспериментальным данным напряжения сдвига от скорости сдвига построены кривые текучести (рис. 1 – 4), которые позволяют определить температуру перехода материала из пластично-текучего состояния в состояние ньютоновской жидкости. Графически подобная зависимость носит прямолинейный характер, тангенс угла наклона прямой, называемый степенью аномалии течения для ньютоновской жидкости, равен единице; для неньютоновской – отличен от единицы.

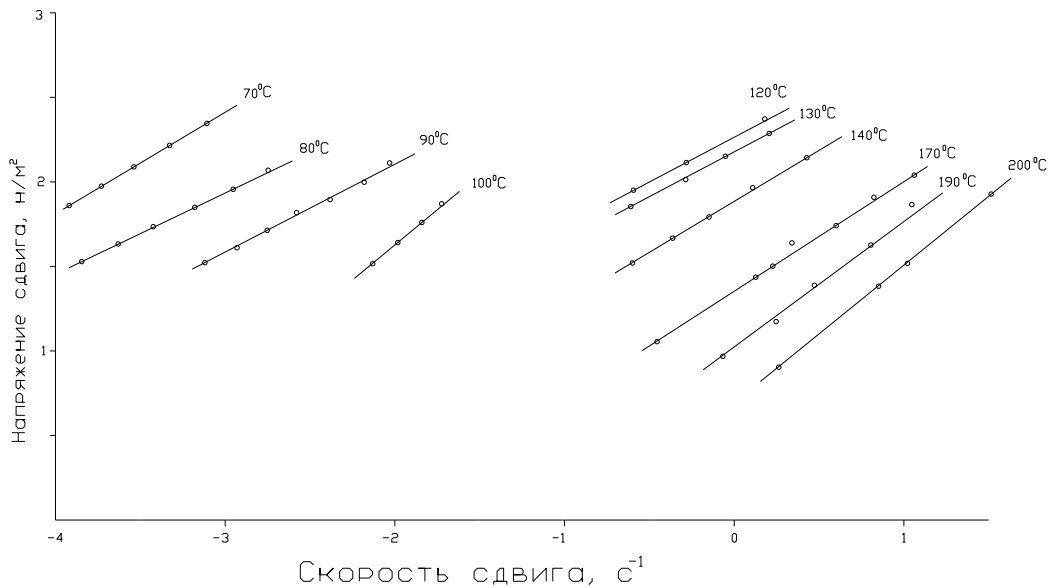


Рис. 1. Реологическая зависимость битумно-полимерной композиции с 5 % НМПЭ в логарифмических координатах

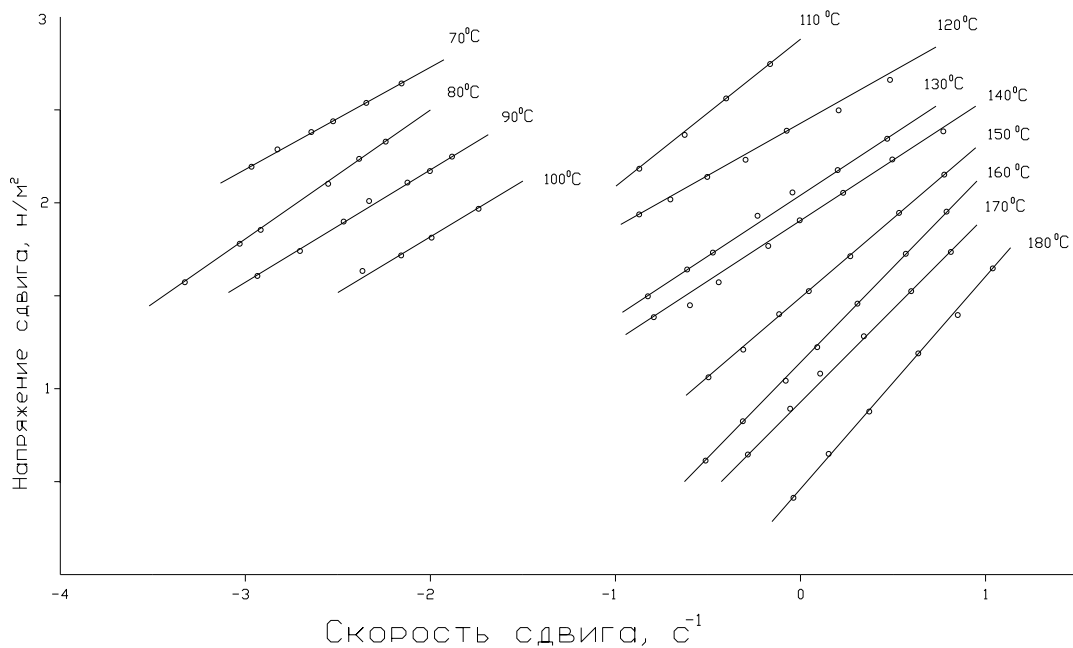


Рис. 2. Реологическая зависимость битумно-полимерной композиции с 3 % НМПЭ в логарифмических координатах

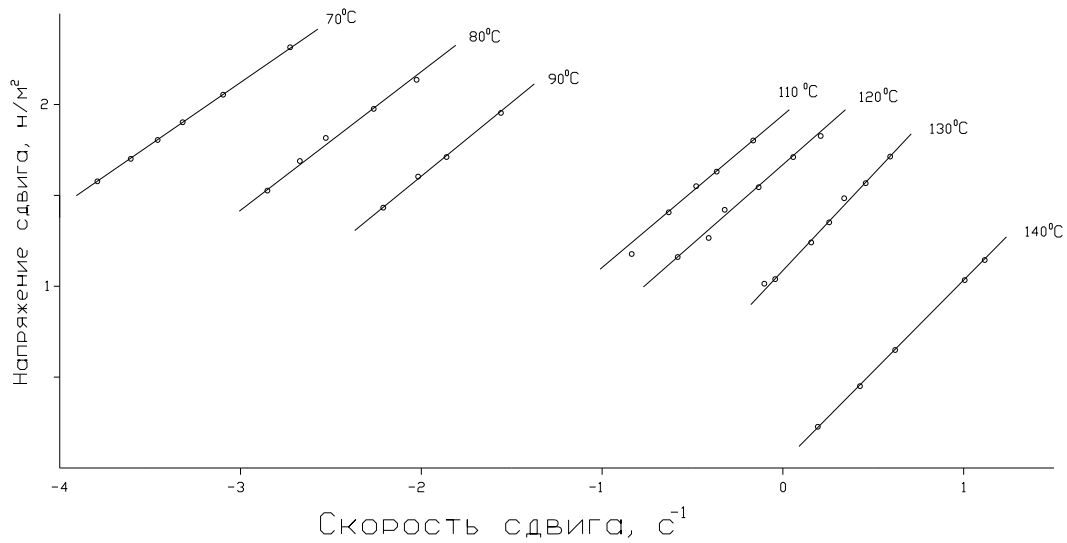


Рис. 3. Реологическая зависимость битума марки БН-90/10 в логарифмических координатах

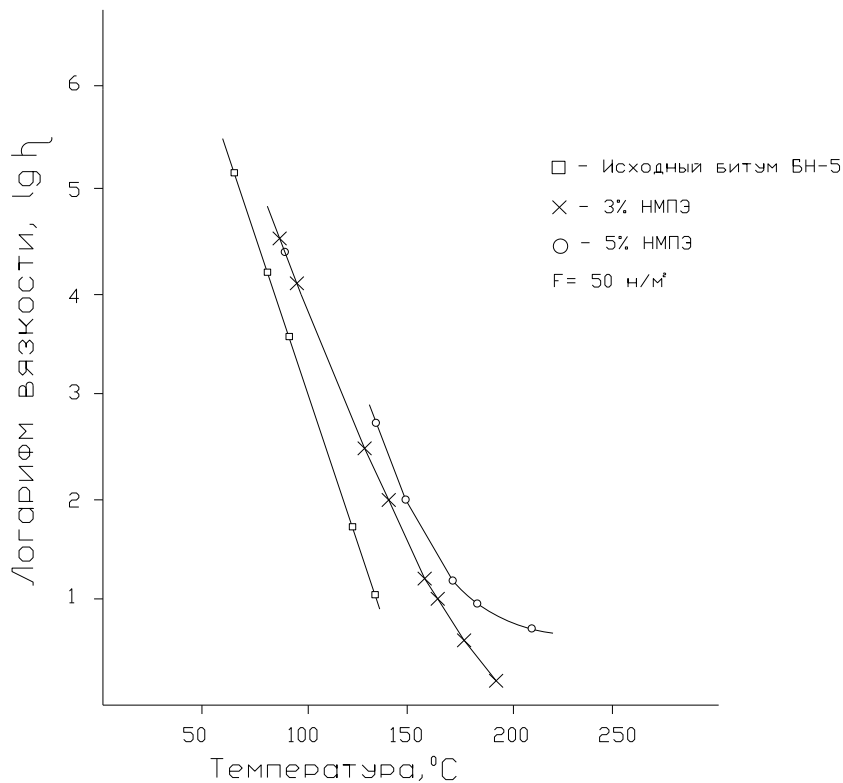


Рис. 4. Зависимость динамической вязкости битума БН 90/10 (БН-5) и битумно-полимерных композиций от температуры

Из анализа результатов проведенных экспериментов следует, что битум марки БН 90/10 и битумно-полимерные композиции с содержанием низкомолекулярного полиэтилена (НМПЭ) 3 и 5 % масс в области температур ниже температуры размягчения имеют неньютоновский характер.

Объясняется это, видимо, тем, что в области температур 70...130 °С материал имеет пространственную структуру, достаточно жесткую, чтобы сопротивляться любому напряжению, не превосходя-

шему предел текучести. При увеличении температуры битум переходит в ньютоновскую жидкость (степень аномалии равна 1). Так, при 140 °С и выше наблюдается ньютоновское течение битума, структура материала устойчива против действия внешних нагрузок.

Вязкостно-температурная зависимость битума и битумно-полимерных композиций представлена на рисунке 4. В интервале температур 110...200 °С наименьшую чувствительность к изменению температуры имеет битумно-полимерная композиция с содержанием НМПЭ 5 % от массы битума, наибольшую чувствительность имеет исходный битум. Прочность и теплостойкость битумно-полимерных композиций, как показано стандартными методами испытаний, при повышении температуры возрастают [16 – 21].

Полученные ранее зависимости подтверждаются при изучении сдвиговых характеристик. Так, при температуре 130 °С и напряжении сдвига 50 Н/м<sup>2</sup> скорость сдвига для битума БН 90/10 и композиций, содержащих 3 и 5 % масс НМПЭ, соответственно равны 4,8; 0,31 и 0,16 с<sup>-1</sup>.

С увеличением содержания полимера в битуме температура перехода из неньютоновского в ньютоновское состояние повышается. При добавке 3 % НМПЭ к битуму БН 90/10 температура составляет 160 °С, а при добавке 5 % НМПЭ – 200 °С. Одновременно возрастает и вязкость материалов: при температуре 140 °С и напряжении сдвига 50 Н/м<sup>2</sup> вязкость равна 0,9; 97 и 104,2 Н·с/м<sup>2</sup> для исходного битума и его композиций с 3 и 5 % НМПЭ соответственно.

Таким образом, температура перехода из неньютоновского состояния в ньютоновское повышается с увеличением содержания полимера в битумно-полимерной композиции, сдвиговые характеристики материалов при этом ухудшаются.

В результате экспериментальных исследований установлено, что добавка полиэтилена к битуму не более 1 % от его массы улучшает его свойства. Для определения количества пленки, затрачиваемой на упаковку битума, по разработанной технологии проведем расчеты расхода полиэтиленовой пленки на упаковку 1 тонны битума.

На рисунке 5 изображена раздутая воздухом полиэтиленовая оболочка во время заливки битума и после заварки ее верхней части.

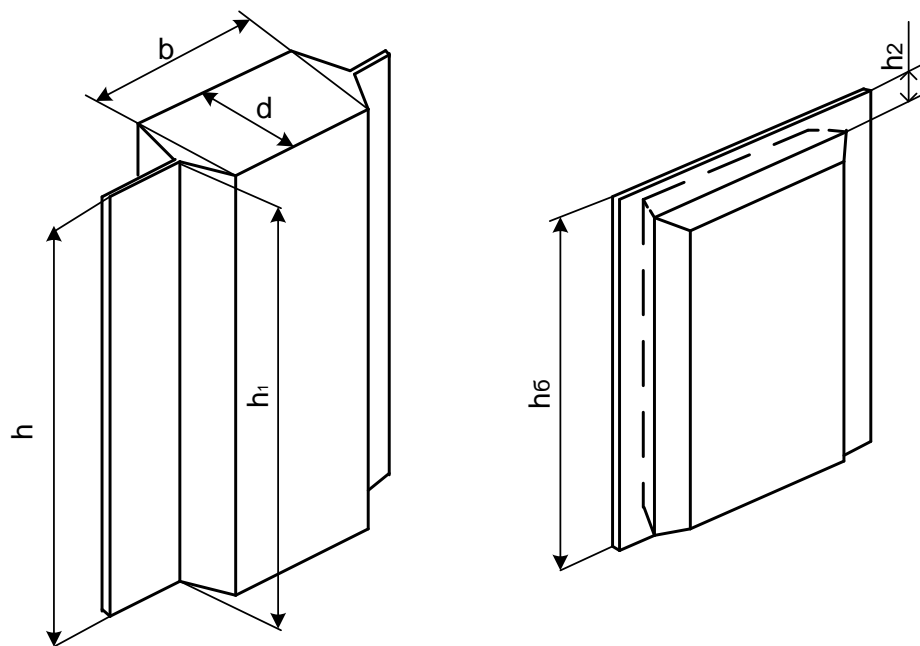


Рис. 5. Полиэтиленовая оболочка для упаковывания битума

Исходные данные для расчета:

1. Масса битума в брикете:  $M = 10$  кг.
2. Плотность битума:  $\rho = 1000$  кг/м<sup>3</sup>.
3. Ширина рукавной пленки:  $b_p = 600$  мм.
4. Толщина пленки:  $\delta = 120$  мкм.
5. Плотность полиэтилена:  $\rho_{пэ} = 920$  кг/м<sup>3</sup>.

**Расчет**

1. Принимаем толщину брикета (оболочки)  $d = 100$  мм.
2. Высота прямоугольной части:

$$h_1 = \frac{2b_p - \pi d}{2} = \frac{3 \cdot 600 - 3,14 \cdot 100}{2} = 443 \text{ мм.}$$

3. Высота оболочки  $h = h_1 + 2 \frac{d}{2} = 443 + 100 = 543$  мм.
4. Объем битума в брикете (оболочке):

$$V_o = \frac{M}{\rho} = \frac{10}{1000} = 10^{-2} \text{ м}^3 = 10^7 \text{ мм}^3 .$$

5. Площадь поперечного сечения оболочки, заполненной битумом (площадь верхней половины круга не учитывается):

$$f = dh_1 + \frac{1}{2} \frac{\pi d^2}{4} = 100 \cdot 443 + 0,392 \cdot 100^2 = 4,82 \cdot 10^4 \text{ мм}^2 .$$

6. Ширина прямоугольной части брикета:

$$b = \frac{V_o}{f} = \frac{10^7}{4,82 \cdot 10^4} = 208 \text{ мм.}$$

Переходы оболочки перед сварными швами в объеме не уточнены (идут в запас).

7. Ширину заготовки (между швами) полиэтиленовой пленки для изготовления оболочки принимаем с учетом переходов  $b_3 = 320$  мм.
8. Принимаем ширину швов между оболочками  $b_1 = 30$  мм; по краям блока ширина шва составляет 15 мм.
9. Общая длина полиэтиленовой рукавной пленки, необходимая для изготовления блока их четырех оболочек (для затаривания 40 кг битума):

$$L_o = 4b_3 + 3b_1 + 2 \frac{b_1}{2} = 4 \cdot 320 + 4 \cdot 30 = 1400 \text{ мм} = 1,4 \text{ м.}$$

10. Высота оболочки (блока и брикета) после сваривания ее верхней части:

$$h_b = h_1 + \frac{d}{2} + 0,5 \frac{\pi d}{2} = 443 + 50 + 78 = 571 \text{ мм.}$$

11. Расход полиэтилена на затаривание 1 т битума:

$$M_{пз} = \rho_{пз} \frac{1000}{40} b_p L_o \cdot 2\delta = 920 \cdot 25 \cdot 0,6 \cdot 1,4 \cdot 2 \cdot 0,12 \cdot 10^{-3} = 4,65 \text{ кг.}$$

**Выводы.** В результате экспериментальных исследований установлено, что добавка полиэтилена к битуму не более 1 % от его массы улучшает его свойства. В то же время из расчетов видно, что массовая доля полиэтиленовой пленки к массе битума составляет 0,5 %. Следовательно, по разработанной технологии упаковывания битума полиэтиленовая пленка может утилизироваться при его использовании у потребителя, что позволит повысить его потребительские свойства.

Определены зависимости влияния добавок низкомолекулярного полиэтилена на изменение реологических свойств битума марки БН 90/10.

Установлено, что температура перехода из неньютоновского состояния в ньютоновское повышается с увеличением содержания полимера в битумно-полимерной композиции, при этом сдвиговые характеристики материалов ухудшаются.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кашцев А.А., Саханов А.Н. // Нефтяное хозяйство. – 1962. – № 1.
2. Руж, Г.И. Вязкость и пластичность нефтепродуктов / Г.И. Руж. – М.: Гостоптехиздат, 1951.

3. Черникин, В.И. Перекачка вязких и застывающих нефтей / В.И. Черникин. – М.: Гостоптехиздат, 1958. – 163 с.
4. Григорян, Г.М. Подогрев нефтяных продуктов / Г.М. Григорян, В.И. Черникин. – М.: Гостоптехиздат, 1947.
5. Губин, В.Е. Трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов / В.Е. Губин, В.В. Губин. – М.: Недра, 1982. – 296 с.
6. Губин, В.Е. Переход от структурного режима к турбулентному при течении вязкопластичных жидкостей в трубах / В.Е. Губин, Ю.В. Скрипников // Нефтяное хозяйство. – 1972. – № 8. – С. 59 – 62.
7. Cawley, C.M. The Pumpability of Waxy Fuel Oil. The Post – War Expansion of the U.K. Petroleum Industry / C.M. Cawley // The Institute of Petroleum. – 1954.
8. Агапкин, В.М. Установившийся температурный режим трубопроводов с промежуточными тепловыми станциями и путевыми отборами (поступлениями) нефти / В.М. Агапкин, В.А. Юфин // Нефть и газ. – 1979. – № 7. – С. 57 – 61.
9. Веденеев, Б.В. Трубопроводный транспорт горячего битума / Б.В. Веденеев, Н.В. Михайлов. – М.: Гостоптехиздат, 1962. – 219 с.
10. Schwedoff, T. Recherches experimentales sur la cohesion des liquides / T. Schwedoff; J de Phys. Et // Radium. – 1890. – V. 9. – P. 34.
11. Bingaham, E.C. Paint a plastic material and not a viscous liquid / E.C. Bingaham // Green Proc. Amer. Soc. Testing Materials. – 1919. – V. 2. – № 19. – P. 640.
12. Bogue, D.C. Engineering Analysis of Non – Newtonian Fluids / D.C. Bogue, J.L. White // Reports of ACARD – NATO. – 1970. – P. 103.
13. Сен Бенан, Б. Об установлении уравнений внутренних движений, вызывающих в твердых телах за пределами упругости / Б. Сен Бенан // В кн. Теория пластичности. – М.: ИЛ, 1948.
14. Шульман, З.П. Одно феноменологическое обобщение кривой течения вязкопластичных реостабильных дисперсных систем / З.П. Шульман // Труды 3 Всесоюзного совещания по тепло- и массопереносу. – Минск, 1968. – Т. 10. – С. 3 – 10.
15. Черникин, В.И. Сооружение и эксплуатация нефтебаз / В.И. Черникин. – М.: Гостоптехиздат, 1955.
16. Анализ и выбор рациональных схем затаривания нефтегрузов в контейнеры: отчет по НИР 77-56 / Полоц. гос. ун-т. – Новополоцк: НПИ, 1980. – № ГР Б-879207.
17. Веребьско, О.О. Реологические свойства окисленных и остаточных битумов / О.О. Веребьско // Автолюб., дорож., дор. буд-во: респ. наук-техн. зб. – 1978. – № 22. – С. 43 – 45.
18. Розенталь, Д.А. Повышение качества строительных битумов: Тематический обзор / Д.А. Розенталь. – М.: ЦИИТЭНефтехим, 1976.
19. Гун, Р.Б. Нефтяные битумы / Р.Б. Гун. – М.: Химия, 1973.
20. Вопросы технологии изготовления битумно-полимерных мастик / И.В. Потеминская [и др.]. // Науч. тр. Акад. коммунал. хозяйства. – 1977. – № 17. – С. 28 – 93.
21. Золотарев, В.А. Влияние структуры и технологии получения битумов на их реологические свойства / В.А. Золотарев, Е.А. Веребская // Машины и технологические переработки каучуков, полимеров и резиновых смесей. – Ярославль, 1978. – № 1. – С. 62 – 68.

Поступила 04.05.2007