DOI: 10.29295/2311–7257–2019–95–1–162–170
УДК 666.972.1

Чаплянко С.В.,
Государственное предприятие «Государственный институт по проектированию предприятий коксохимической промышленности»
(ул. Сумская, 60, Харьков, 61002, Украина; e-mail: to@giprokoks.com)
Никичанов В.В.
Харьковский национальный университет строительства и архитектуры
(ул. Сумская, 40, Харьков, 61002, Украина; e-mail: v_valx7@bigmir.net)

ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТА В ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ БЕТОНА

Выполнен обзор и анализ зарубежных исследований, направленных на решение вопроса о применении пластиковых отходов в виде полиэтилентерефталата при разработке технологии изготовления бетонов различного назначения. Показана целесообразность, технологическая эффективность и перспективность применения ПЭТ в технологии изготовления бетонов.
Ключевые слова: полиэтилентерефталат, заполнитель, бетон, предел прочности, кислотостойкость, проницаемость, карбонизация.

Введение. Решение вопроса о применении пластиковых отходов в технологии изготовления бетонов является особенно актуальным, поскольку имеет важное экологическое (снижение негативного воздействия отходов на окружающую среду, возможность повторного использования отходов, сокращение выбросов CO_2 в случае частичной замены цемента), экономическое (снижение себестоимости изделий, расширение сырьевой базы) и технологическое (разработка более качественного бетона) значения.

Учитывая особую важность проблемы, многие исследователи занимаются изучением влияния введения пластиковых отходов [1, 2], в частности полиэтилентерефталата (далее ПЭТ) в состав бетонов различного назначения [3-9].

Анализ исследований, направленных на изучение влияния введения ПЭТ на свойства бетона, выявил неоднозначность результатов в части улучшения свойств.

Целью настоящей работы является анализ некоторых отдельных результатов зарубежных исследований, направленных на разработку технологии изготовления бетонов различного назначения с применением ПЭТ для выявления влияния пластиковой добавки на показатели свойств бетона, определения технологической эффективности ее применения и выбора направления дальнейших исследований.

Материалы и методы исследований. Аналитическая обработка научных исследований по данной тематике.

Результаты исследований и их обсуждение. В работе [10] представлены результаты исследований, направленных на изучение влияния введения ПЭТ-волокон в количестве от 0,5 до 1,5 % (шаг – 0,5 %) взамен цемента на свойства бетона марки М25 (водоцементное отношение 0,45) в 3, 7 и 28 суточном возрасте. ПЭТ получали путем разрезания мелких фрагментов бутылок случайным образом. В качестве заполнителя использовали песок природной зернистости с модулем крупности 2,85 и гравий. Образцы формовали способом вибролитья, выдерживали 24 часа в форме, а после извлечения – во влажностных условиях. Максимальной величиной предела прочности

при сжатии (38,5 МПа, прирост 9 % в сравнении с эталоном) обладали образцы (150×150×150 мм) в 28 суточном возрасте, содержащие ПЭТ в количестве 0,5 %. При увеличении содержания ПЭТ до 1,5 % предел прочности при сжатии образцов уменьшался до 34 МПа. Максимальной величиной предела прочности при разрыве (1,89 МПа, прирост 18 %) обладали образцы (цилиндры 150×300 мм) в 28 суточном возрасте, содержащие ПЭТ в количестве 0,5 %. При увеличении содержания ПЭТ до 1,5 % предел прочности при разрыве образцов уменьшался до 1,84 МПа. Максимальной величиной предела прочности при изгибе (6,32 МПа, прирост 3 %) обладали образцы (призмы 100×50×50 мм) в 28 суточном возрасте, содержащие ПЭТ в количестве 0,5 %. При увеличении содержания ПЭТ до 1,5 % предел прочности при изгибе образцов уменьшался до 5,48 МПа. В целом, исследованиями показана технологическая эффективность в части увеличения предела прочности при сжатии на 9,0 %, предела прочности при разрыве на 18 % и предела прочности при изгибе на 3,0 % бетона марки М25, содержащего ПЭТ в количестве 0,5 %, в сравнении с эталоном.

Авторами [11] представлены результаты исследований, направленных на изучение влияния введения ПЭТ-хлопьев в количестве от 1 до 5 % (шаг – 1 %) взамен тонкой фракции на свойства бетона марки М25 в 7, 28 и 56 суточном возрасте. В качестве заполнителя использовали агрегаты тонкой фракции с модулем крупности 2,73 и двух крупных фракции с величиной зерна менее 20 мм и менее 10 мм взятых в отношении 60 : 40, диспергатора – суперпластификатор марки «Sika ViscoCrete 20-HE». Образцы изготавливали способом литья, после извлечения из форм выдерживали в резервуаре с водой. Максимальной величиной предела прочности при сжатии (56,4 МПа) обладали образцы (150×150×150 мм) в 56 суточном возрасте, содержащие ПЭТ в количестве 2 %. При увеличении содержания ПЭТ изменение предела прочности при сжатии носило нелинейный характер и для образцов, содержащих ПЭТ в количестве 1, 3, 4 и 5 %, в возрасте 56 суток составляло: ~ 54, 53, 52 и 49 МПа. Максимальной величиной предела прочности при разрыве (5,4 МПа) обладали образцы (цилиндры 150×300 мм) в 56 суточном возрасте, содержащие ПЭТ в количестве 1 %. При увеличении содержания ПЭТ от 2 до 5 % предел прочности при разрыве образцов в 56 суточном возрасте уменьшался от 4,5 до ~2,9 МПа. В целом, исследованиями показана технологическая эффективность в части прочностных характеристик (предела прочности при сжатии и предела прочности при разрыве) бетона марки М25, содержащего ПЭТ в количестве 1,0-2,0 %.

В работе [12] представлены результаты исследований, направленных на изучение влияния введения ПЭТ-волокон в количестве от 0,5 до 1,5 % (шаг – 0,5 %) сверх 100 % шихты на свойства бетона (водоцементное отношение 0,5) в 28 суточном возрасте. В качестве заполнителя использовали песок с модулем крупности 3,24 и гранитный камень с максимальным размером зерна 20 мм. ПЭТ расплавляли при температуре 250 °С для получения волокна диаметром 1 мм, после чего разрезали на волокна с отношением диаметр : длина (далее d/l) равном 0,15, 030, 045. Для приготовления смеси механически перемешивали материал заполнителя в течение 3-5 минут, добавляли цемент и перемешивали в течение 3 минут, добавляли воду, ПЭТ и перемешивали еще 5 минут. Образцы выдерживали в форме в течение 24 часов. Максимальной величиной предела прочности при сжатии (32,7 МПа, прирост 13 %) обладали образцы, содержащие ПЭТ при отношении d/l равном 0,15 в количестве 1,5 %. При увеличении отношения d/l от 0,15 до 0,45 предел прочности при сжатии образцов уменьшался: от 28,6 до 26,0 МПа при содержании ПЭТ в количестве 0,5 %; от 30,5 до

27,1 МПа при содержании ПЭТ в количестве 1,0 % и до 27,0 МПа при содержании ПЭТ в количестве 1,5 %. Исследованиями по определению кислотостойкости (образцы 150×150×150 мм погружали в 5 % раствор хлористоводородной кислоты, разбавленный дистиллированной водой, после чего 90 дней подвергали отверждению в растворе соляной кислоты, который заменяли каждые 15 дней, сушили при комнатной температуре, очищали поверхность и определяли предел прочности при сжатии) установлено, что минимальная потеря прочности (10,3 %) соответствовала образцам, содержащим ПЭТ с отношением d/l равном 0,15 в количестве 1,5 %. При увеличении отношения d/l от 0,15 до 0,45 имело место увеличение потери прочности: от 11,8 до 13,4 % при содержании ПЭТ в количестве 0,5 %; от 11,5 до 14,6 % при содержании ПЭТ в количестве 1,0 % и до 12,9 % при содержании ПЭТ в количестве 1,5 %. Исследованиями по определению стойкости к воздействию хлоридов (образцы 150×150×150 мм помещали на 90 дней в раствор из 3,5 % хлорида натрия и 100 л дистиллированной воды, который заменяли каждые 15 дней, сушили при комнатной температуре, очищали поверхность и определяли предел прочности при сжатии) установлено, что минимальная потеря прочности (11,2 %) соответствовала образцам, содержащим ПЭТ с отношением d/l равном 0,15 в количестве 1,5 %. При увеличении отношения d/l от 0,15 до 0,45 имело место увеличение потери прочности: от 12,7 до 14,2 % при содержании ПЭТ в количестве 0,5 %, от 12,4 до 15,5 % при содержании ПЭТ в количестве 1,0 % и до 13,7 % при содержании ПЭТ в количестве 1,5 %. Исследованиями по определению проницаемости ионов хлорида (ASTM C1202, проводившийся заряд рассчитывали по ASTM C1202, образец диаметром 100 мм и высотой 50 мм) определены практически равные величины показателя (от 1760 до 1789 кулон, максимум – у эталона) для всех составов бетонов, что свидетельствует о высоком сопротивлении проникновению ионов хлорида в бетон. В целом, исследованиями показана технологическая эффективность в части увеличения предела прочности при сжатии на 13 % в сравнении с эталоном, а также минимальная потеря прочности (10,3 % и 11,2 %) при определении кислотостойкости и стойкости к воздействию хлоридов бетона, содержащего ПЭТ-волокна при отношении d/l равном 0,15 в количестве 1,5 %, хотя авторами выделен лучшим состав бетона, содержащий ПЭТ-волокна при отношении d/l равном 0,45 в количестве 1,0 %.

Авторами [13] представлены результаты исследований, направленных на изучение влияния введения ПЭТ-волокон (гладких и гофрированных с отношением сторон равным 8, 15 и 23) в количестве от 0,5 до 1,5 % (шаг – 0,5 %) взамен цемента на свойства бетона марки М30 (водоцементное отношение 0,43) в 28 суточном возрасте. В качестве заполнителя использовали агрегаты тонкой и крупной фракции с величиной зерна менее 20 мм, диспергатора – суперпластификатор. Максимальной величиной предела прочности при сжатии (47,4 МПа, прирост 18 %) обладали образцы, содержащие гофрированные ПЭТ при отношении сторон 15 в количестве 1 %. При увеличении содержания гофрированных ПЭТ от 0,5 до 1,5 % изменение предела прочности при сжатии носило нелинейный характер и составляло: 43,8, 45,8 и 45,1 МПа при отношении сторон 8; 45,0, 47,4 и 46,9 МПа при отношении сторон 15; 44,2, 46,8 и 45,7 МПа при отношении сторон 23. При увеличении содержания гладких ПЭТ от 0,5 до 1,5 % изменение предела прочности при сжатии носило нелинейный характер и составляло: 42,7, 44,2 и 43,7 МПа при отношении сторон 8; 44,3 46,4 и 45,5 МПа при отношении сторон 15; 41,2, 43,9 и 43,1 МПа при отно-

шении сторон 23. Максимальной величиной предела прочности при изгибе (9,0 МПа, прирост 70 %) обладали образцы (балки), содержащие гофрированные ПЭТ при отношении сторон 15 в количестве 1 %. При увеличении содержания гофрированных ПЭТ от 0,5 до 1,5 % изменение предела прочности при изгибе носило нелинейный характер и составляло: 7,8, 8,2 и 7,9 МПа при отношении сторон 8; 8,1, 9,0 и 8,5 МПа при отношении сторон 15; 7,9, 8,3 и 8,1 МПа при отношении сторон 23. При увеличении содержания гладких ПЭТ от 0,5 до 1,5 % изменение предела прочности при изгибе носило нелинейный характер и составляло: 7,5, 8,0 и 7,8 МПа при отношении сторон 8; 8,0, 8,5 и 8,3 МПа при отношении сторон 15; 7,7, 8,0 и 7,8 МПа при отношении сторон 23. Максимальной величиной предела прочности при разрыве (5,8 МПа, прирост 41 %) обладали образцы, содержащие гофрированные ПЭТ при отношении сторон 15 в количестве 1 %. При увеличении содержания гофрированных ПЭТ от 0,5 до 1,5 % изменение предела прочности при разрыве носило нелинейный характер и составляло: 5,2, 5,4 и 5,3 МПа при отношении сторон 8; 5,4, 5,8 и 5,7 МПа при отношении сторон 15; 5,3, 5,5 и 5,4 МПа при отношении сторон 23. При увеличении содержания гладких ПЭТ от 0,5 до 1,5 % изменение предела прочности при разрыве носило нелинейный характер и составляло: 5,0, 5,2 и 5,1 МПа при отношении сторон 8; 5,1, 5,6 и 5,3 МПа при отношении сторон 15; 5,0, 5,5 и 5,2 МПа при отношении сторон 23. Испытаниями на карбонизацию (цилиндрический образец 90 дней выдерживали в естественных атмосферных условиях, раскалывали, опрыскивали область скола раствором фенолфталеина и измеряли глубину проникновения) и стойкость к хлоридам (цилиндрический образец на 90 дней погружали в 1,8 молярный раствор NaCl, раскалывали, опрыскивали область скола 0,1 молярным раствором нитрата серебра и по образовавшемуся белому осадку измеряли глубину проникновения) для отношения сторон 8, 15, 23 установлена глубина проникновения: 0,3, 0,4, 0,3 и 2,4, 1,2, 2,1, соответственно. В целом, исследованиями показана технологическая эффективность в части увеличения предела прочности при сжатии на 18 %, предела прочности при разрыве на 41 % и предела прочности при изгибе на 70 % бетона марки М30, содержащего гофрированные ПЭТ-волокна при отношении сторон 15 в количестве 1,0 %, в сравнении с эталоном.

В работе [14] представлены результаты исследований, направленных на изучение влияния введения ПЭТ размером 4,75–9,5 мм в количестве 5, 10 и 20 % взамен заполнителя на свойства бетона (водоцементное отношение 0,45) в 7, 21 и 28 суточном возрасте. ПЭТ подготавливали путем разрезания бутылок на фрагменты. В качестве заполнителя использовали песок с модулем крупности 1,97 и бой кирпича фракции 4,75–9,5 мм. При введении и увеличении содержания ПЭТ в образцах в 28 суточном возрасте имело место увеличение водоадсорбции от ~ 8,8 (прирост 11 %) до 11,2 % для бетона, содержащего ПЭТ в количестве 5 и 20 %. Максимальная величина предела прочности при сжатии (~ 17,4 МПа, прирост 5 %) соответствовала образцам в 28 суточном возрасте, содержащим ПЭТ в количестве 10 %. При увеличении содержания ПЭТ в образцах в 28 суточном возрасте изменение предела прочности при сжатии носило нелинейный характер и составляло: ~ 14,5 и 9,9 МПа для образцов, содержащих ПЭТ в количестве 5 и 20 %. Максимальной величиной предела прочности при разрыве (~ 2,09 МПа) обладали эталонные образцы в 28 суточном возрасте. При введении и увеличении содержания ПЭТ изменение предела прочности при разрыве носило нелинейный характер и составляло: ~ 1,67, ~ 1,98 и ~ 1,14 МПа, соответственно. Максимальной величиной предела прочности при изгибе (~ 2,91 МПа) обладали эталонные образцы в 28 суточном возрасте. При

введении и увеличении содержания ПЭТ имело место уменьшение предела прочности при изгибе до ~ 1,80, 1,74 и 1,72 МПа, соответственно. При введении и увеличении содержания ПЭТ процент потери веса увеличивался до 0,44, 0,45 и 0,60 %, соответственно (против 0,40 % для эталона). В целом, несмотря на потерю предела прочности при разрыве и изгибе на 5 и 40 % соответственно, исследованиями показана технологическая эффективность в части увеличения предела прочности при сжатии на 5 % и прирост процента потери веса на 0,05 %, использования ПЭТ в количестве 10 % в качестве заполнителя легковесного бетона.

В работе [15] представлены результаты исследований, направленных на изучение влияния введения ПЭТ размером менее 4,75 мм в количестве 5, 6, 8, 10, 15 и 20 % взамен тонких фракций на свойства бетона марки М30 (водоцементное отношение 0,40) в 7 и 28 суточном возрасте. В качестве заполнителя использовали песок природной зернистости с модулем крупности 2,65 и материал с размером зерна менее 20 мм, минеральной добавки – микрокремнезем с размером частиц 10 мкм, диспергатора – суперпластификатор марки MasterGlenium SKY 8233 Formerly Glenium B233. Исследования осуществляли по двум направлениям: без и с добавкой микрокремнезема. Микрокремнезем вводили в количестве от 5 до 15 % (шаг – 5 %) взамен цемента в шихту, содержащую ПЭТ в количестве 20 %. Исследованиями по первому направлению установлено, что максимальной величиной предела прочности при сжатии (47,0 МПа) обладали эталонные образцы в 28 суточном возрасте. При введении и увеличении содержания ПЭТ от 5 до 20 % предел прочности при сжатии образцов в 28 суточном возрасте уменьшался от 46,1 до 40,0 МПа. Максимальной величиной предела прочности при разрыве (3,05 МПа, прирост 2 %) обладали образцы в 28 суточном возрасте, содержащие ПЭТ в количестве 5 %. При увеличении содержания ПЭТ от 6 до 20 % предел прочности при разрыве образцов в 28 суточном возрасте уменьшался от 3,03 до 2,80 МПа. Максимальной величиной предела прочности при изгибе (4,60 МПа) обладали эталонные образцы в 28 суточном возрасте. При введении и увеличении содержания ПЭТ от 5 до 20 % предел прочности при изгибе образцов в 28 суточном возрасте уменьшался от 4,40 до 3,75 МПа. Интересно отметить, что при введении ПЭТ в количестве 5 % потеря прочности при сжатии образцов составляла 2 %, потеря прочности при изгибе – 4 %, а прирост прочности при разрыве – 2 %. При введении ПЭТ в количестве 6 % потеря прочности при сжатии образцов составляла 2 %, потеря прочности при изгибе – 9 %, а прирост прочности при разрыве – 1 %. Исследованиями по второму направлению установлено, что при увеличении содержания микрокремнезема от 5 до 15 % предел прочности при сжатии образцов в 28 суточном возрасте увеличивался и составлял: 45,2, 48,0, 49,0 МПа, соответственно. При увеличении содержания микрокремнезема увеличивался предел прочности при разрыве образцов в 28 суточном возрасте: 3,39, 3,42, 3,64 МПа. Аналогичный характер имеет изменение предела прочности при изгибе образцов: 4,50, 4,60, 4,80 МПа. В целом, исследованиями показана технологическая эффективность в части увеличения предела прочности при сжатии на 4,2 %, предела прочности при разрыве на 21,4 % и предела прочности при изгибе на 4,3 % бетона марки М25, содержащего ПЭТ и микрокремнезем в количестве 20 %, в сравнении с эталоном.

Авторами [16] представлены результаты исследований, направленных на изучение влияния введения ПЭТ-волокон (длиной 32 мм и диаметром 14 мкм, полученных методом экструзии пластиковой нити из переработанных ПЭТ-хлопьев) в количестве от 1,0 до 2,0 % (шаг – 0,5 %) сверх 100 % шихты на свойства цементсодержащего

композита. В качестве заполнителя использовали кварцевый песок с максимальным размером зерна 2,1 мм, минеральной добавки – золу, диспергатора – суперпластификатор марки «Glenium 51». Отношение зола/цемент составляло 1,2. Образцы изготавливали методом литья в металлические формы, выдерживали 24 часа, после чего извлекали и выдерживали в течение 28 дней в камере отверждения при относительной влажности 100 % и температуре $21^{\pm1}$°C. Определение предела прочности при изгибе (при 4-х точечной нагрузке) образцов (400×60×12,5 мм) осуществляли на специальной испытательной машине при наложении нагрузки 0,2 мм/мин. Максимальное напряжение при изгибе эталонных образцов соответствовало среднему отклонению 0,304 мм. При введении и увеличении содержания ПЭТ среднее отклонение уменьшалось и составляло: 0,277, 0,276 и 0,275 мм, соответственно. Максимальной величиной прочности, отвечающей появлению первой трещины (4,09 МПа, прирост 0,7 %), обладали образцы, содержащие ПЭТ в количестве 1,0 %. При увеличении содержания ПЭТ прочность уменьшалась и составляла: 4,00 и 3,27 МПа. При увеличении содержания ПЭТ от 1,0 до 2,0 % увеличивались предел прочности при изгибе образцов от 2,58 до 3,03 МПа и отклонение от 0,94 до 1,43 мм, что в 4,7 раза выше, чем у эталона. В целом, исследованиями показана технологическая эффективность в части увеличения предела прочности при изгибе цементсодержащего композита при введении ПЭТ-волокон в количестве 1,0-1,5 %, в сравнении с эталоном, что открывает перспективы в разработке устойчивых материалов для гражданской строительной промышленности.

В работе [17] представлены результаты исследований, направленных на изучение влияния введения ПЭТ-волокон в количестве от 0,5 до 3,0 % (шаг – 0,5 %) на свойства бетонов марок М20 (водоцементное отношение 0,52) и М30 (водоцементное отношение 0,48). ПЭТ длиной 25 мм и шириной 1 и 2 мм получали путем разрезания бутылок (после удаления горлышка и основания). Отношение сторон ПЭТ составляло 35 и 50. В качестве заполнителя использовали песок природной зернистости с модулем крупности 2,65 и камень двух фракций с размером зерна менее 20 мм и менее 10 мм взятых в отношении 60 : 20, диспергатора – суперпластификатор марки «AC-PLAST-BV-M4» (в количестве 0,6 % от содержания цемента). Образцы (150×150×150 мм) изготавливали способом вибролитья. Определение прочности (IS 516-1959) осуществляли на специальной испытательной машине. Максимальной величиной предела прочности при сжатии (30,2 и 43,8 МПа, прирост 7,3 и 6,3 %) обладали образцы бетонов марок М20 и М30, содержащие ПЭТ в количестве 1 % при отношении сторон 50. Предел прочности при сжатии образцов бетонов марок М20 и М30, содержащих ПЭТ в количестве 1 % при отношении сторон 35 составлял 29,6 и 43,0 МПа. При увеличении содержания ПЭТ независимо от марки бетона и отношения сторон волокон изменение предела прочности при сжатии носило нелинейный характер. При введении волокон в количестве 0,5 % предел прочности при сжатии составлял 28,4 и 29,6 МПа для отношения сторон волокна 35 и 50 бетона марки М20; 41,8 и 43,0 МПа для бетона марки М30. При введении волокон в количестве 1,5 % предел прочности при сжатии составлял 28,4 и 28,7 МПа для отношения сторон волокна 35 и 50 бетона марки М20; 42,7 и 41,8 МПа для бетона марки М30. При увеличении содержания ПЭТ до 3,0 % предел прочности при сжатии уменьшался до 28,1 и 20,4 МПа для отношения сторон волокна 35 и 50 бетона марки М20, а также 31,4 и 33,2 МПа для бетона марки М30. Интересно отметить, что потеря прочности образцов бетона при содержании ПЭТ в количестве 3,0 % (в сравнении с оптимальным – 1 %) при отношении сторон волокон 35 и 50

для бетона марки М20 составляла 23 и 32 %, для бетона марки М30 – 27 и 24 %, в то время как, потеря прочности образцов бетона при содержании ПЭТ в количестве 3,0 % (в сравнении с 0,5 %) для бетона марки М20 составляла 20 и 10 %, для бетона марки М30 – 25 и 23 %. В целом, исследованиями показана технологическая эффективность в части увеличения показателя предела прочности при сжатии на 7,3 и 6,3 % бетонов марок М20 и М30, содержащих ПЭТ-волокна длиной 25 мм и отношением сторон 50 в количестве 1,0 %, в сравнении с эталоном.

Авторами [18] приведены результаты исследований, направленных на изучение влияния введения ПЭТ-хлопьев фракции 0,5, 1,5 и 3 мм в количестве 1,0, 2,5 и 5,0 % взамен песка на свойства бетона (водоцементное отношение 0,485) в 7 и 28 суточном возрасте. В качестве заполнителя использовали песок с размером зерна 1,4 мм и гравий с максимальным размером зерна 9 мм. ПЭТ получали путем отделения от бутылок горлышка и дна, разрезанием на фрагменты длиной 50 мм шириной 5 мм с последующей дорезкой, измельчением и рассеиванием на фракции. Меньший разброс величин и одинаковый характер набора прочности при увеличении содержания ПЭТ имел место у образцов (цилиндров) в 28 суточном возрасте, содержащих фракцию 1,5 мм (20,3, 21,0, 21,4 МПа). Максимальной величиной предела прочности при сжатии (26,8 МПа) обладали эталонные образцы в 28 суточном возрасте. При увеличении содержания ПЭТ фракции 0,5 мм и 3,0 мм изменение предела прочности при сжатии образцов в 28 суточном возрасте носило нелинейный характер и составляло: ~ 22,3, 23,1, 20,4 МПа и 14,2, 12,1, 12,3 МПа; при увеличении содержания фракции 1,5 мм предел прочности при сжатии увеличивался: ~ 20,3, 21,0, 21,4 МПа, соответственно. Максимальной величиной модуля упругости (5,2 Гпа) обладали образцы в 28 суточном возрасте, содержащие ПЭТ фракции 0,5 мм и 1,5 мм в количестве 2,5 %. При увеличении содержания ПЭТ независимо от размера фракции изменение модуля упругости образцов в 28 суточном возрасте носило нелинейный характер, причем максимальное значение для каждой фракции соответствовало содержанию ПЭТ в количестве 2,5 %. Максимальной величиной модуля Юнга обладали образцы, содержащие ПЭТ фракции 0,5 мм в количестве 2,5 %. При увеличении содержания ПЭТ фракции 1,5 мм величина модуля Юнга практически не менялась. В целом, несмотря на уменьшение предела прочности при сжатии на 14 % сравнительно с эталоном исследованиями показана технологическая эффективность применения ПЭТ фракции 0,5 мм в количестве 2,5 % в части прочностных характеристик (предела прочности при сжатии, модуля упругости модуля Юнга).

Выводы. Выполнен обзор и анализ зарубежных исследований, направленных на изучение вопроса применения полиэтилентерефталата в технологии изготовления бетонов различного назначения. Приведенными результатами исследований установлены целесообразность, технологическая эффективность и перспективность введения ПЭТ в бетон, т.к. даже в случае ухудшения свойств данные бетоны могут найти широкое применение. В целом, введение ПЭТ в оптимальном количестве, форме и размере в бетон обеспечивает увеличение предела прочности при сжатии, предела прочности при изгибе, предела прочности при разрыве, кислотостойкости и стойкости к воздействию хлоридов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Ушеров-Маршак А.В. Бетоны нового поколения: основы получения и перспективы развития [Текст] / А.В. Ушеров-Маршак, В.П. Сопов // Науковий вісник будівництва. – 2009. – № 55. – С. 231–239.

2. Сопов В.П., Долгий В.П. Проблема совместимости химических добавок с различными видами цементов / Науковий вісник будівництва. Харьков: ПФ «Михайлов». – 2013. – № 4 (74). – С. 358–363.
3. Mushtaq A. PET as a novel material in construction industry / Aneesa Mushtaq // International Journal of Advance Research in Science and Engineering. – 2018, Vol. 7, Special issue 04. – p. 666-670.
4. A. Vishnu. Use of polyethylene terephthalate in concrete - a brief review / A. Vishnu, V. Mohana, S. Maanasi, V. Ponmalar // International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET). – 2017, Vol. 8, Issue 7. – p. 1171–1176. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/319094698
5. Nabajyoti Saikia. Waste polyethylene terephthalate as an aggregate in concrete / Nabajyoti Saikia, Jorge de Brito // Materials Research. – 2013, Vol. 16(2). – p. 341–350.
6. Foti Dora. Use of recycled waste pet bottles fibers for the reinforcement of concrete / Composite Structures. – 2013, 96. – p. 396–404.
7. Fraternali F. Experimental study of the thermo-mechanical properties of recycling PET fiber-reinforced concrete / F. Fraternali, V. Ciancia, R. Chechile, G. Rizzano, L. Feo, L. Incarnato // Composite Structures. – 2011, Vol. 93. – p. 2368–2374.
8. Pulverised PET bottles as partial replacement for sand / L.R. Bandodkar, A.A. Gaonkar, N.D. Gaonkar, Y.P. Gauns, S.S. Aldonkar, P.P. Savoikar // International Journal of Earth Sciences and Engineering. – 2011, Vol. 04. – № 06. – p. 1009–1012.
9. Frigione M. Recycling of PET bottles as fine aggregate in concrete / M. Frigione //Waste Manag. – 2010, Vol. 30(6). – p. 1101–11066.
10. Dinesh Y. Strength characteristics of fibre reinforced concrete using recycled PET / Y. Dinesh, Ch. Hanumantha Rao // International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET). – 2017, Vol. 8, Issue 4. – p. 092–099. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/317018379
11. Vikas Patil. Compressive and tensile strength analysis of polyethylene terephthalate (PET) for 7, 28 and 56 days // V. Patil, R. Patil // International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET). – 2017, Vol. 04, Issue 12. – p. 351—353. [Электронный ресурс]. Режим доступа: www.irjet.net/volume4-issue12
12. Krishnamoorthy M. Durability Studies on Polyethylene Terephthalate (PET) Fibre Reinforced Concrete / M. Krishnamoorthy, D. Tensing, M. Sivaraja, A.R. Krishnaraja // International Journal of Civil Engineering and Technology. – 2017, 8(10), – p. 634–640. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.iaeme.com/IJCIET/issues.asp?JType=IJCIET&VType=8&IType=10
13. Aswathy N. Experimental study on concrete with straight and crimped plastic fibres / N. Aswathy, Allzi Abraham // International Journal of Science and Research (IJSR) – 2016, Vol. 5, Issue 9. – p. 1589–1592. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.ijsr.net/archive/v5i9/ART20161940.pdf
14. Hossain M.B. Use of waste plastic aggregation in concrete as a constituent material / MB Hossain, P. Bhowmik, K.M. Shaad // Progressive Agriculture. – 2016. – № 27 (3). – p. 383–391.
15. Harini B. Use of recycled plastic waste as partial replacement for fine aggregate in concrete / B. Harini, K.V. Ramana // International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology. – 2015, Vol. 4, Issue 9. – p. 8596–8603. [Электронный ресурс]. Режим доступа: 10.15680/ IJIRSET. 2015.0409106
16. Margareth da Silva Magalhaes. Bending behavior of recycled PET fiber reinforced cement based composite / Margareth da Silva Magalhaes, Matheus Soares Viana Fernandes // IACSIT International journal of engineering and technology. – 2015, Vol. 7. – № 4. – p. 282–285.
17. Nibudey R.N. A model for compressive strength of PET fiber reinforced concrete / R.N. Nibudey, P.B. Nagarnaik, D.K. Parbat, A.M. Pande // American Journal of Engineering Research. – 2013, Vol. 02, Issue 12, – p. 367–372 [Электронный ресурс]. Режим доступа: ttps://www.researchgate.net/publiccation/271830110

18. Effects on mechanical properties of recycled PET in cement-based composites / Liliana Ávila Córdoba, Gonzalo Martínez-Barrera, Carlos Barrera Díaz, Fernando Ureña Nuñez, Alejandro Loza Yañez // International Journal of Polymer Science, 2013 [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/258398317

Chaplianko S.V., Nikichanov V.V. APPLICATION OF POLYETHYLENE TEREPHTHALATE IN TECHNOLOGY OF CONCRETE MANUFACTURING. Have been executed review and analysis of foreign studies aimed at solving the issue of plastic waste in the form of polyethylene terephthalate application in technology development of concrete for various purposes manufacturing. Have been shown feasibility, technological efficiency and prospects of PET application in concrete technology manufacturing.

Key words: polyethylene terephthalate, aggregate, concrete, strength, acid resistance, permeability, carbonization.

Чаплянко С.В., Нікічанов В.В. ЗАСТОСУВАННЯ ПОЛІЕТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТУ В ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ БЕТОНУ. Виконано огляд і аналіз зарубіжних досліджень, спрямованих на вирішення питання щодо застосування пластикових відходів у вигляді поліетилентерефталату при розробці технології виготовлення бетонів різного призначення. Показана доцільність, технологічна ефективність і перспективність застосування ПЭТ у технології виготовлення бетонів.

Ключові слова: поліетилентерефталат, заповнювач, бетон, межа міцності, кислотостійкість, проникність, карбонізація.

DOI: 10.29295/2311–7257–2019–95–1–170–176
УДК 69:691-41

Першина Л.О., Макаренко О.В.
Харківський національний університет будівництва та архітектури
(вул. Сумська, 40, Харків, Україна; e-mail: pershinalal@gmail.com; olga.fxm@gmail.com; orcid.org/0000-0002-6964-9655; orcid.org/0000-0002-4125-2365)

ОЦІНКА ФУНКЦІОНАЛЬНОСТІ ТА ЕКОНОМІЧНОСТІ ПРИ ВИБОРІ БІТУМНОЇ ЧЕРЕПИЦІ

У статті розглянута бітумна черепиця як один із поширених видів покрівельних матеріалів для скатних покрівель. Виконано порівняльний аналіз бітумної черепиці від найбільш популярних компаній-виробників на українському будівельному ринку. Оцінено можливості більшого розповсюдження елітних різновидів бітумної черепиці порівняно з бюджетними варіантами.

Ключові слова: покрівельне покриття, бітумна черепиця, властивості, гарантійний термін експлуатації, ціна.

Вступ. Дах як верхня захисна конструкція будівлі піддається впливу ряду факторів, серед яких: атмосферні опади, УФ-випромінювання, вітер, перепади температури, механічні навантаження, хімічно активні речовини та ін. [1]. Покрівельний матеріал має відповідати кліматичним особливостям певного регіону, навантаженням на покрівлю, нахилу її скатів, типу споруди та її архітектурному рішенню, умовам експлуатації покрівлі, задовольняти технічним вимогам щодо водонепроникності, міцності, морозостійкості, деформативності, теплостійкості, водопоглинання, гнучкості, крихкості, хімічної стійкості та ін., а також бути достатньо довговічним, естетичним і