

2018. 230. 02034. 6 p. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201823002034>.
6. Antsupov E.V., Rodivilov S.M. Antipireny dlya poristikh materialov. *Pozharovzryvobezopasnost*. M.: VNIPO, 2011. Issue. 5. P. 25-32.
  7. Krüger S., Gregor J., Gluth G., Watolla M-B., Morys M., Häßler D., Schartel B. *Neue Wege: Reaktive Brandschutzbeschichtungen für Extrembedingungen*. 2016. Vol. 93/8. P. 531-542.
  8. Carosio F., Kochumalayil J., Cuttica F., Camino G., Berglund L. Oriented clay nanopaper from biobased components mechanisms for superior fire protection properties. *ACS Appl. Mater. Interfaces*. Washington, 2015. Vol. 7 (10). P. 5847-5856.
  9. Tsapko Yu., Киричок В.І., Tsapko A., Bondarenko O. Aspects of the development of fire-protective roofing composition for the reed. *Scientific Bulletin of Construction*. Kharkiv: KhNUBA, 2018. Vol. 94. Issue 4. P. 134-140. doi: 10.29295/2311-7257-2018-94-4-134-139/
  10. Tsapko Yu., Bondarenko O., Tsapko A., Goryachev V.A. Rationale of thermal insulation and fire properties of steam material. *Scientific Bulletin of Construction*. Kharkiv: KhNUBA, 2019. Vol. 97. Issue 3. P. 93-99. doi: 10.29295/2311-7257-2019-97-3-93-99/
  11. Tsapko YU.V., Kryvenko P.V. ta inshi. Sposib vyznachennya indeksu horyuchosti teploizolyatsiynykh budivel'nykh materialiv. *Patent na korysnu model'* №129524 Ukrayina. MPK G01N 25/50 (2006.01). Zayavl. 27.06.2018. Opubl. 25.10.2018. Byul. № 6.
  12. DBN V.1.1-7-2002 *Pozhezhna bezpeka ob'yektiv budivnytstva*. Kiev: Derzhbud Ukrainy. 2003. 41 p.

**Tsapko Yu., Bondarenko O., Tsapko A., Verbytska O. FIRE PROTECTION OF REED PRODUCTS WITH INTUMESCENT COATINGS.** The results of experimental studies on the effectiveness of fire protection of reed products are presented. Studies to determine the flammable properties of reeds have shown that the raw sample ignites, but for the flame retardant, the process of ignition and spread of the flame did not occur. Inhibition of the process of ignition and spread of flame for such a sample is associated with the decomposition of flame retardants under the action of temperature with heat absorption and release of non-combustible gases (nitrogen, carbon dioxide), changing the direction of decomposition towards non-combustible gases and flame retardant coke. This indicates the possibility of the cane transition during the treatment of the composition to materials that are moderately flammable and flammable, do not spread the flame on the surface.

**Key words:** reed fire protection, fire protective coatings, thermal conductivity, surface treatment, thermophysical properties.

doi.org/10.29295/2311-7257-2018-101-3-147-156

УДК 666.972.1

**Нікічанов В. В.<sup>1</sup>, Чаплянко С. В.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Харківський національний університет будівництва та архітектури  
(вул. Сумська 40, Харків, 61002, Україна; e-mail: [v\\_valx7@bigmir.net](mailto:v_valx7@bigmir.net), <https://orcid.org/0000-0002-5913-1043>)

<sup>2</sup>ДП «ГИПРОКОКС»  
(вул. Сумська 60, Харків, 61002, Україна; e-mail: [to@giprokoks.com](mailto:to@giprokoks.com), <https://orcid.org/0000-0002-0494-141x>)

## ЗАСТОСУВАННЯ ПОЛІПРОПІЛЕНУ В ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ БЕТОНУ

Виконано огляд і аналіз закордонних досліджень, спрямованих на розв'язок питання про застосування пластикових відходів у вигляді поліпропілену в технології виготовлення будівельного розчину й бетонів різного призначення.

Отримані результати свідчать про доцільність, ефективність (технологічну, економічну, екологічну) і перспективність використання поліпропіленових пластикових відходів у технології виготовлення бетонів.

**Ключові слова:** пластикові відходи, поліпропілен, бетон, водоцементне відношення, розтікання, щільність, міцність.

**Вступ:** Дана стаття є продовженням статей із аналізу закордонних досліджень [1-3], спрямованих на розв'язок питання застосування різних видів (за хімічним складом) пластикових відходів у технології виготовлення бетону різного призначення.

Враховуючи екологічну важливість проблеми негативного впливу пластику на навколишнє середовище, а також перспективи застосування пластику в складі бетону, багато дослідників займаються вивченням даного питання [4-7].

Аналіз досліджень, спрямованих на вивчення впливу введення поліпропілену (далі ПП) на властивості бетону, виявив неоднозначність результатів у частині технологічної ефективності.

Метою даної роботи є аналіз деяких окремих результатів закордонних досліджень, спрямованих на розробку технології виготовлення бетонів різного призначення із застосуванням ПП для виявлення впливу пластикової добавки на показники властивостей бетону, визначення технологічної ефективності й перспектив її застосування, а також вибору напрямку подальших досліджень.

**Матеріали й методи досліджень.** Аналітична обробка наукових досліджень за даною тематикою.

**Результати досліджень і їх обговорення.** У роботі [8] представлено результати досліджень, спрямованих на вивчення впливу введення ПП у якості грубозернистого заповнювача на властивості легкового бетону.

У якості сировинних матеріалів використовували: портландцемент, річковий пісок (модуль крупності 2,316, питома вага 2,588 г/см<sup>3</sup>), ПП, суперпластифікатор і воду. Пропорцію матеріалів у бетоні визначали з використанням рецептури суміші, заснованої на абсолютному об'ємі. Відношення пісок : цемент залишалось незмінним (1,7) у всіх сумішах. Відношення пісок : ПП становило 2,75, 2,47 і 1,9, що приблизно відповідає вмісту ПП у кількості 17, 19 і 23 ваг. %.

ПП отримували шляхом нагрівання відходів пластику до температури плавлення (130 °C ± 10 °C) із наступним заповненням форми під гідравлічним тиском і охолодженням. Процес проводився за допомогою ручного інжекційного пластикового автомата з автоматичним контролем температури. Для поліпшення зчеплення на границі розділу крупний заповнювач - будівельний розчин, отриманий ПП (розміром 10×20×20 мм) покривали гарячим піском. Після чого ПП із покриттям з піску поміщали в обертовий циліндр. Випробуванням на стирання встановлено, що груба сукупна стиранність такого ПП склала не більш 10,8 %.

Зразки виготовляли у формі циліндра діаметром 150 мм і висотою 300 мм. При проведенні випробувань використовували зразки в 28 добовому віці.

Залежності зміни властивостей легкового бетону від вмісту ПП наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Залежності зміни властивостей легкового бетону від вмісту ПП

Найменування властивостей	Приблизний вміст ПП, ваг. %		
	17	19	23
Водоцементне відношення	0,256	0,287	0,290
Щільність, кг/м <sup>3</sup>	1781,27	1779,77	1738,22
Межа міцності при стисненні <sup>1</sup> , МПа	26,58	23,45	21,01
Межа міцності при розтягуванні <sup>2</sup> , МПа	2,52	2,43	2,12

1 – по ASTM C-39; 2 – по ASTM C-496.

Як видно з даних табл. 1, при збільшенні вмісту ПП у суміші показники міцності бетону зменшуються. Оптимальним, з точки зору міцності, є введення ПП у приблизній кількості 17 ваг.%. Авторами відзначено, що межа міцності при розтягуванні розроблених складів бетону більша за еталонну.

У цілому, дослідженнями показано технологічну ефективність введення покритого піском ПП розміром 10×20×20 мм у приблизній кількості 17 ваг.% до складу легкового бетону: збільшено показник границі міцності при розтягуванні в порівнянні з еталонном.

Установлено, що розроблений бетон відповідає критеріям легкого конструкційного бетону. Подальші дослідження будуть спрямовані на вивчення міцності при розтягуванні при випробуваннях на пряме розтягування, розколювання й вигин.

Авторами [9] представлено результати досліджень, спрямованих на вивчення впливу введення гранул ПП замість частини піску на властивості «звичайного» (нормального) бетону.

У якості сировинних матеріалів використовували: портландцемент (клас міцності 42,5 МПа), пісок природної зернистості (розмір часток менш 1,2 мм – 79,1 %, менш 0,6 мм – 37,1 %; насипна щільність 1717 кг/м<sup>3</sup>), натуральний гравій (номінальний максимальний розмір 20 мм, менш 20 мм – 33 %), ПП (насипна щільність 522,5 кг/м<sup>3</sup>) і воду. Водоцементне відношення становило 0,47.

ПП після переробки у вигляді циліндричних гранул розміром 3×5 мм вводили в кількості 5 і 10 % замість частини піску.

Зразки у формі куба 100×100×100 мм, балки 100×100×500 мм і циліндра діаметром 150 мм із висотою 300 мм виготовляли способом вібролиття. При визначенні властивостей використовували зразки в 28 добовому віці.

Залежності зміни властивостей бетону від вмісту ПП наведено в табл. 2.

Таблиця 2 – Залежності зміни властивостей бетону від вмісту ПП

Найменування властивостей	Вміст ПП, % заміни за вагою піску		
	0	5	10
Розтікання <sup>1</sup> , мм	55	60	65
Щільність <sup>2</sup> , кг/м <sup>3</sup>	2600	2567	2434
Межа міцності при стисненні <sup>3</sup> , МПа	38,16	32,37	33,33
Межа міцності при вигині <sup>4</sup> , МПа	2,59	2,12	2,23
Межа міцності при розтягу <sup>5</sup> , МПа	2,36	2,55	2,82

1 – по BS EN 12350-2:2009; 2 – на кубах по BS EN 12350-6:2009; 3 – на кубах по BS EN 12390-3:2009; 4 – на балках по BS EN 12390-5:2009; 5 – на циліндрах по BS EN 12390-6:2009

Як видно з даних табл. 2, при введенні ПП показники межі міцності при стисненні й вигині зразків незначно зменшилися, границі міцності при розриві – збільшилися. Оптимальним, з точки зору комплексу властивостей, є введення 10 % ПП.

У цілому, дослідженнями показано часткову технологічну ефективність введення гранул 3×5 мм ПП у кількості 10 % замість частини піску до складу досліджуваного бетону: незважаючи на зменшення показників межі міцності при стисненні (на 15 %) і вигині (на 14 %) мало місце збільшення розтікання (на 18 %) і межі міцності на розтяг (на 19 %) у порівнянні з еталоном.

Авторами [10] представлено результати досліджень, спрямованих на вивчення впливу введення волокон ПП у будівельний розчин.

У якості сировинних матеріалів використовували: портландцемент (високоміцний), пісок двох типів (модуль крупності 2,65 і 1,17), волокна ПП (щільність 0,99 г/см<sup>3</sup>) діаметром 0,38 – 0,51 мм довжиною 20 і 50 мм, пластифікатор на основі лігносульфонатів (у кількості 0,7 % від ваги цементу) і воду. Водоцементне відношення становило 0,55.

Волокна ПП отримували шляхом миття і нарізки пластикової складової (щітки) відходів побутових мителок. ПП вводили в кількостях 2 і 8 кг/м<sup>3</sup>, що приблизно відповідає 0,4 і 1,7 % від ваги цементу.

Розчин виготовляли наступним чином. Волокна ПП, цемент і пісок змішували в герметичному механічному міксері протягом 3 хв, додавали воду й пластифікатор, перемішували ще 3 хв. Отриману суміш витримували 3 хв, після чого – перемішували 2 хв. Зразки виготовляли способом вібролиття у вигляді куба 150×150×150 мм, призми

150×150×150 мм і плити 100×300×400 мм. Відразу після виготовлення, зразки запечатували й витримували при температурі 22 °С протягом 24 годин, після чого – витягали з форм і занурювали у воду при температурі 22 °С на 28 днів.

Залежності зміни властивостей зразків розчину від вмісту й довжини волокон ПП наведено в табл. 3.

Таблиця 3 – Залежності зміни властивостей зразків будівельного розчину від вмісту й довжини волокон ПП

Найменування властивостей*	Відсоток вмісту й довжина волокон ПП				
	0	0,4* %		1,7* %	
		20 мм	50 мм	20 мм	50 мм
Межа міцності при стисненні <sup>1</sup> , МПа	44,9	42,5	41,4	40,2	43,1
Межа міцності при вигині <sup>2</sup> , МПа	5,9	5,7	5,8	5,5	6,1
Кумулятивна енергія удару <sup>3</sup> , Дж при:					
- утворенні першої тріщини	500	472	569	603	634
- руйнуванні	516	550	660	1039	1568

\* – наведено орієнтовні значення властивостей;

1 – на кубах по BS-EN 12390-3; 2 – на призмах на експериментальній установці при трьохточковому навантаженні з розмахом між опорами 450 мм по ASTM 31018; 3 – на плитах.

Окремо слід відзначити, що визначення ударної в'язкості здійснювали на експериментальній установці, що складається з опорної металевої підставки (відстань між опорами – 30 см) і металевого снаряда. Снаряд скидали в центр плити з висоти від 5 до 90 см (кожні 5 см). Маса металевого снаряда становила 2,170 кг для висот у діапазоні від 5 до 90 см, а також 3,334 кг для висоти 90 см.

Як видно з даних табл. 3, максимальною величиною межі міцності при стисненні характеризувалися еталонні зразки, межі міцності при вигині – зразки зі вмістом волокон ПП довжиною 50 мм у кількості 1,78 % від ваги цементу. Додавання волокон дозволило плиті витримати більше енергії удару при виникненні першої тріщини й остаточному руйнуванні. Напроти, еталонні зразки показали крихке руйнування, оскільки енергія удару утворення першої тріщини всього на 3 % менше за енергію руйнування зразків.

У цілому, дослідженнями показано часткову технологічну ефективність введення волокон ПП довжиною 50 мм замість частини (1,78 % від ваги) цементу до складу будівельного розчину: незважаючи на зменшення показника межі міцності при стисненні (на 4,0 %) збільшено показник межі міцності при вигині (на 3,4 %) і енергію удару при руйнуванні (в 3 рази) зразків у порівнянні з еталоном. Подальші дослідження будуть спрямовані на вивчення впливу кількості ПП волокна довжиною 50 мм на міцність будівельних розчинів. Уведення волокон довжиною 20 мм має екологічні переваги, оскільки при незначному погіршенні міцностних властивостей будівельних розчинів, ПП відходи можуть бути інкапсульовані.

У роботі [11] представлено результати досліджень, спрямованих на вивчення впливу введення гранул ПП замість частини піску на властивості бетону середньої міцності.

У якості сировинних матеріалів використовували: портланд-вапняковий цемент СЕМ II/A-L 32,5 R – Тармас (насипна щільність 1440 кг/м<sup>3</sup>) у кількості 16,00 %, пісок (розмір часток менш 4 мм, насипна щільність 1250 кг/м<sup>3</sup>) у кількості від 27,23 до 26,41 %, гравій (розмір зерен 4-10 мм, насипна щільність 1200 кг/м<sup>3</sup>) у кількості 49,68 і 38,50 %, ПП (насипна щільність 1075 кг/м<sup>3</sup>) і вода в кількості 7,10 %. Водоцементне відношення бетону становило 0,44.

Гранули ПП величиною 2-3 мм вводили в кількостях від 0,01 до 0,82 %.

Зразки у вигляді куба 150×150×150 мм виготовляли способом вібролиття в металеві форми.

Залежності зміни властивостей бетону від вмісту ПП наведено в табл. 4 (наведено властивості зразків в 28 добовому віці).

Таблиця 4 – Залежності зміни властивостей бетону від вмісту ПП

Найменування властивостей	Вміст ПП, %						
	0	0,01	0,27	0,41	0,54	0,68	0,82
Розтікання <sup>1</sup> , мм	50	50	40	40	30	20	10
Щільність, кг/м <sup>3</sup>	2251	2231	2227	2212	2216	2145	2224
Межа міцності при стисненні <sup>2</sup> , МПа	30,50	23,62	24,80	25,23	23,78	26,44	24,50

1 – slump test по BS EN 12350-2:2009; 2 – по BS EN 12390-4:2000

Як видно з даних табл. 4, при введенні й збільшенні вмісту ПП показники властивостей бетону трохи погіршуються. Еталонний бетон і бетон, що містить 0,01 % ПП, за показником розтікання відповідали класу S2 (50 – 90 мм), інші склади – класу S1 (10 – 40 мм). З урахуванням вимоги BS 8500-1:2015+A1:2016 два розроблені склади бетону відповідають класу міцності ST5 (25 МПа).

У цілому, дослідженнями показано винятково екологічну ефективність введення гранул 2×3 мм ПП у кількості 0,68 % замість частини піску до складу бетонів середньої міцності: у порівнянні з еталоном знизилася розтікання – на 60 %, щільність – на 4,7 %, границя міцності при стисненні – на 13,31 %.

У роботі [12] представлено результати досліджень, спрямованих на вивчення впливу введення пластинок ПП замість частини піску на властивості бетону марки М40.

У якості сировинних матеріалів використовували: портландцемент 53 марки, річковий пісок природної зернистості з модулем крупності 2,68 (максимальна величина часток 4,75 мм), граніт з модулем крупності 7,05 (максимальна величина зерна 20 мм) і воду. Водоцементне відношення бетону становило 0,4.

Пластинки ПП величиною 2-5 мм вводили в кількості від 5 до 20 % (крок 5 %) від маси піску.

Залежності зміни властивостей бетону М40 від вмісту ПП наведено в табл. 5.

Як видно з даних табл. 5, при збільшенні вмісту ПП у бетоні показники властивостей маси й зразків погіршуються.

Таблиця 5 – Залежності зміни властивостей маси й зразків бетону від вмісту ПП

Найменування властивостей	Вміст ПП, % заміни за вагою піску				
	0	5	10	15	20
Розтікання <sup>1</sup> , мм	54	41	33	20	16
Межа міцності при стиску <sup>2</sup> , МПа:					
- у віці 7 днів	33,15	32,88	31,32	29,98	27,84
28 днів	50,66	48,24	43,40	37,47	34,51
Межа міцності при вигині <sup>2</sup> , МПа:					
- у віці 7 днів	4,44	3,60	2,79	1,99	1,25
28 днів	6,02	5,06	4,35	3,55	2,59

1 – slump test по IS:1199-1959; 2 – на зразках у вигляді куба й призми по IS:516-1959

При дослідженні довговічності бетону визначали втрату маси й межу міцності при стисненні зразків бетону, поміщених у дистильовану воду й розчин сульфату натрію з концентрацією 5 % на 28 днів. Установлено, що зразки бетону, що містять ПП у кількості 5 % за вагою піску, не характеризувалися втратою маси. Втрата маси еталонних зразків склала 0,4 %. Межа міцності при стисненні еталонних зразків витриманих у воді становила 48,62 МПа, у розчині сульфату натрію – 47,7 МПа. Межа міцності при стисненні зразків,

що містять ПП у кількості 5 % за вагою піску, витриманих у воді становила 47,2 МПа, у розчині сульфату натрію – 46,45 МПа.

У цілому, дослідженнями показано винятково екологічну ефективність введення ПП розміром 2-5 мм замість 5 % піску в складі бетону марки М40: незважаючи на зменшення показників розтікання (на 20,4 %), границі міцності при стисненні (на 4,8 %) і при вигині (на 15,9 %) відзначено позитивний вплив на довговічність бетону в частині відсутності втрати маси. Подальші дослідження будуть спрямовані на визначення впливу кількості й величини волокна ПП, а також зміни водоцементного відношення на властивості бетону.

У роботі [13] представлено результати досліджень, спрямованих на вивчення впливу введення дробленого ПП на властивості «звичайного» бетону.

У якості сировинних матеріалів використовували: портландцемент (питома вага 3150 кг/м<sup>3</sup>), пісок природної зернистості (питома вага 2545 кг/м<sup>3</sup>) модулем крупності 2,177, крупний заповнювач (питома вага 2576 кг/м<sup>3</sup>) з максимальним розміром зерна 20 мм, осколки ПП величиною 3-25 мм і воду. Водоцементне відношення бетону становило 0,5.

ПП отримували дробленням відходів «скляного» ПП у спеціальній машині. Геометрія осколків ПП - нерегулярна й кутааста, питома вага ПП 897 кг/м<sup>3</sup>. ПП вводили в кількостях від 0,1 до 0,3 об.%, а також 0,5, 0,7, 1,0, 2,00, 3,00 об.%.

Зразки виготовляли у формі циліндра діаметром 150 мм і висотою 300 мм, балки 150×150×550 мм і двотаврової балки 20×30×7,5 см<sup>3</sup>, посиленою основною арматурою і стременими – сталевими стрижнями діаметром 8 і 6 мм, відповідно.

Дослідженнями з визначення консистенції бетону встановлено різке зниження розтікання при введенні ПП у кількостях 2,0 % (30 мм) і 3,0 % (10 мм). Враховуючи отримані результати, подальші дослідження проводили при введенні ПП у кількостях до 1,0 % (включно).

Залежності зміни властивостей зразків бетону в 28 добовому віці від вмісту ПП наведено в табл. 6.

Як видно з даних табл. 6, при введенні ПП у кількості 0,2 об.% показник межі міцності на розрив при розтягуванні збільшився на 6,0 %, межі міцності при зсуві – на 6,1 %, а межі міцності при вигині зменшився незначно (0,9 %) у порівнянні з еталоном.

У цілому, дослідженнями показано часткову технологічну ефективність введення ПП розміром 3-25 мм до складу досліджуваного бетону. При введенні ПП у кількості 0,2 об. % незважаючи на зменшення показника границі міцності при вигині (на 0,9 %) має місце збільшення показників границі міцності на розрив при розтягуванні (на 6,0 %) і при зсуві (на 6,1 %) у порівнянні з еталоном.

Таблиця 6 – Залежності зміни властивостей маси й зразків бетону від вмісту ПП

Найменування властивостей	Вміст ПП, об.%						
	0	0,1	0,2	0,3	0,5	0,7	1,0
Розтікання <sup>1</sup> , мм	120	120	120	120	110	100	80
Межа міцності при стисненні <sup>2</sup> , МПа	24,22	23,94	24,22	23,71	23,63	23,98	21,01
Межа міцності на розрив при розтягуванні <sup>3</sup> , МПа	3,01	2,26	3,19	2,62	2,58	2,58	2,57
Межа міцності при вигині <sup>4</sup> , МПа	4,28	4,17	4,24	4,15	4,62	5,02	4,84
Межа міцності при зсуві <sup>5</sup> , МПа.	4,12	4,37	4,37	5,86	5,87	4,26	4,25

1 – slump test по ASTM C-143; 2 – на зразках у вигляді циліндра по ASTM C-39; 3 – на зразках у вигляді циліндра по ASTM C-496; 4 – на зразках у вигляді циліндра по ASTM C-78; 5 – на зразках у вигляді двотаврової балки.

При введенні ПП у кількостях 0,5 і 0,7 об.% незважаючи на зменшення показників межі міцності при стисненні (на 2,4 і 1,0 %) і межі міцності на розрив при розтягуванні (на 14,3 %) має місце збільшення показників межі міцності при вигині (на 7,9 і 17,3 %) і при зсуві (на 42,5 і 3,4 %) у порівнянні з еталоном.

У роботі [14] представлено результати досліджень, спрямованих на вивчення впливу введення гранул ПП замість частини піску на властивості порожнистих бетонних блоків.

У якості сировинних матеріалів використовували: портландцемент (питома вага 3150 кг/м<sup>3</sup>), пісок природної зернистості модулем крупності 2,25 (питома вага 2440 кг/м<sup>3</sup>), гранули ПП модулем крупності 4,86 (питома вага 890 кг/м<sup>3</sup>) величиною більш 4,75 мм і воду. Водоцементне відношення бетону становило 0,5. Співвідношення цемент : пісок витримували рівним 1:5.

Гранули ПП, отримані з відходів, вводили в кількостях від 10 до 40 % із кроком 10 % від частини піску.

Зразки виготовляли у формі блоків номінального розміру 100×200×400 мм. Блоки витримували для затвердіння й висушували на повітрі протягом 28 днів.

Залежності зміни властивостей зразків бетону в 28 добовому віці від вмісту ПП наведено в табл. 7.

Таблиця 7 – Залежності зміни властивостей бетонних блоків від вмісту ПП

Найменування властивостей	Вміст ПП, % заміни за вагою піску				
	0	10	20	30	40
Межа міцності при стисненні <sup>1</sup> , МПа	2,23	3,58	1,73	1,52	1,05
Уявна щільність <sup>2</sup> , кг/м <sup>3</sup>	2028	1931	1865	1785	1690

1 – по ASTM C140; 2 – по ASTM C127 (при визначенні уявної щільності зразки не піддавали сушінню в печі, проте, наведені значення щільності можуть наближатися до сухої щільності, оскільки зразки були висушені на повітрі протягом більш 48 годин до випробування)

Як видно з даних табл. 7, максимальну величину межі міцності при стисненні отримано при заміні 10 % піску ПП, а мінімальну уявну щільність – очікувано при максимальному вмісті ПП.

У цілому, дослідженнями показано технологічну ефективність введення гранул модулем крупності 4,86 ПП замість частини (10 %) піску до складу порожнистих бетонних блоків: у порівнянні з еталоном межа міцності при стисненні збільшилася на 60,5 % при зниженні уявної щільності на 4,8 %. Подальші дослідження будуть спрямовані на вивчення впливу ПП на інші механічні властивості бетонних блоків і випробування інших видів пластикових відходів.

Авторами [15] представлено результати досліджень, спрямованих на вивчення впливу введення ПП замість частини піску на показники властивостей бетону марки М25.

У якості сировинних матеріалів використовували: портландцемент (питома вага 3,1 г/см<sup>3</sup>), пісок (питома вага 2,59 г/см<sup>3</sup>) з розміром зерна менш 4,75 мм, низькощільний ПП фракції менш 4,75 мм, заповнювач (питома вага 2,5 г/см<sup>3</sup>) – агрегати з максимальним розміром зерна 20 мм і воду.

Отриманий у результаті пульверизації (для додання округлої форми) відходів ПП вводили замість частини піску в кількості від 5 до 20 % (крок 5 %).

Зразки виготовляли у формі куба 150×150×150 мм, циліндра діаметром 150 мм і висотою 300 мм, призми.

Залежності зміни властивостей зразків бетону марки М25 від вмісту ПП наведено в табл. 8.

Як видно з даних табл. 8, зміна міцностних властивостей бетону при введенні й збільшенні вмісту ПП носить нелінійний характер.

Таблиця 8 – Залежності зміни властивостей зразків бетону від вмісту ПП

Найменування властивостей	Вміст ПП, % заміни за вагою піску				
	0	5	10	15	20
Межа міцності при стисненні <sup>1</sup> , МПа	34,96	35,85	38,96	32,45	30,66
Межа міцності при вигині <sup>2</sup> , МПа	6,73	7,42	7,73	6,47	6,40
Межа міцності при розриві <sup>3</sup> , МПа	3,063	3,156	3,343	2,876	2,850

1, 2, 3 – на кубах, циліндрах і призмах, відповідно.

У цілому, дослідженнями показано технологічну ефективність введення низькощільного поліпропілену розміром менш 4,75 мм замість частини (10 %) піску до складу бетону марки М25: у порівнянні з еталоном межа міцності при стисненні збільшилася на 12 %, границя міцності при вигині – на 15 %, границя міцності при розриві – на 9 %.

**Висновки.** Виконано огляд і аналіз закордонних досліджень, спрямованих на вивчення питання застосування ПП у технології виготовлення бетонів різного призначення. Наведеними результатами досліджень встановлено доцільність, технологічну ефективність і перспективність введення відходів пластику даного хімічного складу в бетон (навіть у випадку погіршення експлуатаційних властивостей дані бетони рекомендують до застосування).

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Нікічанов В. В., Чаплянко С. В. Застосування пластикових відходів у технології виготовлення бетону. *Науковий вісник будівництва*. Харків: ХНУБА, 2018. Т. 94. № 4. С. 125-133. Available at: doi.org/10.29295/2311-7257-2018-94-4-125-133
2. Чаплянко С. В., Нікічанов В. В. Застосування поліетилентерефталату в технології виготовлення бетону. *Науковий вісник будівництва*. Харків: ХНУБА, 2019. Т. 95. № 1. С. 162-170. Available at: doi.org/10.29295/2311-7257-2019-95-1-162-170
3. Чаплянко С. В., Нікічанов В. В. Застосування поліетилену в технології виготовлення бетону. *Науковий вісник будівництва*. Харків: ХНУБА, 2020. Т. 99. № 1. С. 193-200. Available at: doi.org/10.29295/2311-7257-2020-99-1-193-200
4. Radimir Novotny, Jiri Sal, Marek Ctibor. Environmental use of waste materials as admixtures in concrete. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019, 603. Available at: doi.org/10.1088/1757-899X/603/5/052101
5. Zaleska M., Pavlikova M., Jankovsky O., Pokorny J., Pavlik Z. Lightweight concrete made with waste expanded polypropylene-based aggregate and synthetic coagulated amorphous silica. *Ceramics-Silikaty*. 2018. № 62. Issue 3. P. 221-232.
6. Sreenath S., Harishankar S. Effect of partial replacement of fine aggregate in concrete with low density polypropylene. *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*, 2016, Vol. 7, Issue 6, P. 635-640. Available at: [www.iaeme.com/MasterAdmin/uploadfolder/IJCIET\\_07\\_06\\_070/IJCIET\\_07\\_06\\_070.pdf](http://www.iaeme.com/MasterAdmin/uploadfolder/IJCIET_07_06_070/IJCIET_07_06_070.pdf)
7. Alfahdawi I. H., Hamid R., Osman S. A., Al-Hadithi A. I. Utilizing waste plastic polypropylene and polyethylene terephthalate as alternative aggregates to produce lightweight concrete: A review. *Journal of Engineering Science and Technology*. 2016. Vol. 11. № 8. P. 1165-1173. Available at: [www.researchgate.net/publication/305904606](http://www.researchgate.net/publication/305904606)
8. Purnomo H., Putri R. K., Perdani P. Splitting tensile strength of lightweight concrete using polypropylene coarse aggregate coated with sand. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019, 625. Available at: doi.org/10.1088/1757-899X/625/1/012008
9. Hind M., Abdel Moti, Mustafa A. Mustafa. Use of polypropylene waste plastic pellets as partial replacement for fine aggregate in concrete. *UNIVERSITY OF KHARTOUM ENGINEERING JOURNAL (UofKEJ)*. 2019. Vol. 9. Issue 1. P. 37-43. Available at: [www.researchgate.net/publication/335857396](http://www.researchgate.net/publication/335857396)
10. Gerardo Araya-Letelier, Pablo Maturana, Miguel Carrasco, Federico Carlos Antico, Maria Soledad Gomez. Mechanical-damage behavior of mortars reinforced with recycled polypropylene fibers. *Sustainability*, 2019, 11. Available at: doi.org/10.3390/su11082200
11. Reza Keihani, Ali Bahadori-Jahromi, Timothy James Clacy. Sustainable development of medium strength concrete using polypropylene as aggregate replacement. *International Journal of Civil and Environmental Engineering*. 2019. Vol. 13. № 9. P 588-599. Available at:

- [www.researchgate.net/publication/336006864\\_Sustainable\\_Development\\_of\\_Medium\\_Strength\\_Concrete\\_Using\\_Polypropylene\\_as\\_Aggregate\\_Replacement](http://www.researchgate.net/publication/336006864_Sustainable_Development_of_Medium_Strength_Concrete_Using_Polypropylene_as_Aggregate_Replacement)
12. Visweswara Sastry Dhara, Sunil Kumar. K, Vimala A. Experimental investigation on mechanical and durability properties of concrete with plastic waste. *International Journal of Engineering & Technology*. 2018. № 7 (3.35). P. 32-36
  13. Sjah J., Chandra J., Rastandi J.I., Arijoeni E. The effect of usage of crushed polypropylene plastic waste in mechanical properties of concrete. *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*. 2018. Vol. 9. Issue 7. P. 1495-1505. Available at: [www.iaeme.com/ijciyet/issues.asp?JType= IJCIET&VType=9&IType=7](http://www.iaeme.com/ijciyet/issues.asp?JType= IJCIET&VType=9&IType=7)
  14. Lasco J. D. D., Madlangbayan M. S., Sundo M. B. Compressive strength and bulk density of concrete hollow blocks (CHB) with polypropylene (PP) pellets as partial replacement for sand. *Civil Engineering Journal*. 2017. Vol. 3. № 10. P. 821-830. Available at: [dx.doi.org/10.28991/cej-030917](https://doi.org/10.28991/cej-030917)
  15. Sreenath S., Harishankar S. Effect of partial replacement of fine aggregate in concrete with low density polypropylene. *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*. 2016. Vol. 7. Issue 6. P. 635-640. Available at: [https://www.iaeme.com/MasterAdmin/upload-folder/IJCIET\\_07\\_06\\_070/IJCIET\\_07\\_06\\_070.pdf](https://www.iaeme.com/MasterAdmin/upload-folder/IJCIET_07_06_070/IJCIET_07_06_070.pdf)
- REFERENCES:
1. Nikichanov V. V., Chaplianko S. V. Primenenie plastikovyh othodov v tekhnologii izgotovleniya betona [Application of plastic wastes in the technology of concrete manufacture]. *Naukovij visnik budivnictva* [Scientific Bulletin of Civil Engineering]. Kharkiv, KhNUBA Publ., 2018, Vol. 94, no. 4, pp. 125-133. Available at: 10.29295/2311-7257-2018-94-4-125-133.
  2. Chaplianko S. V., Nikichanov V. V. Primenenie polietilentereftalata v tekhnologii izgotovleniya betona [Application of polyethylene terephthalate in technology of concrete manufacturing]. *Naukovij visnik budivnictva* [Scientific Bulletin of Civil Engineering]. Kharkiv, KhNUBA Publ., 2019, Vol. 95, no. 1, pp. 162-170. Available at: 10.29295/2311-7257-2019-95-1-162-170.
  3. Chaplianko S. V., Nikichanov V. V. Primenenie polipropilena v tekhnologii izgotovleniya betona [Application of polypropylene in technology of concrete manufacturing]. *Naukovij visnik budivnictva*. Kharkiv, KhNUBA Publ., 2020, Vol. 99, no. 1, pp. 193-200. Available at: DOI: 10.29295/2311-7257-2020-99-1-193-200
  4. Radimir Novotny, Jiri Sal, Marek Ctibor. Environmental use of waste materials as admixtures in concrete. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019, 603. Available at: 10.1088/1757-899X/603/5/052101
  5. Zaleska M., Pavlikova M., Jankovsky O., Pokorny J., Pavlik Z. Lightweight concrete made with waste expanded polypropylene-based aggregate and synthetic coagulated amorphous silica. *Ceramics-Silikáty*. 2018, № 62, Issue 3, pp. 221-232.
  6. Sreenath S., Harishankar S. Effect of partial replacement of fine aggregate in concrete with low density polypropylene. *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*, 2016, Vol. 7, Issue 6, pp. 635-640. Available at: [www.iaeme.com/MasterAdmin/upload-folder/IJCIET\\_07\\_06\\_070/IJCIET\\_07\\_06\\_070.pdf](http://www.iaeme.com/MasterAdmin/upload-folder/IJCIET_07_06_070/IJCIET_07_06_070.pdf)
  7. Alfahdawi I. H., Hamid R., Osman S. A., Al-Hadithi A. I. Utilizing waste plastic polypropylene and polyethylene terephthalate as alternative aggregates to produce lightweight concrete: A review. *Journal of Engineering Science and Technology*, 2016, Vol. 11, № 8, pp. 1165-1173. Available at: [www.researchgate.net/publication/305904606](http://www.researchgate.net/publication/305904606)
  8. Purnomo H., Putri R. K., Perdani P. Splitting tensile strength of lightweight concrete using polypropylene coarse aggregate coated with sand. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019, 625. Available at: 10.1088/1757-899X/625/1/012008
  9. Hind M., Abdel Moti, Mustafa A. Mustafa. Use of polypropylene waste plastic pellets as partial replacement for fine aggregate in concrete. *UNIVERSITY OF KHARTOUM ENGINEERING JOURNAL (UofKEJ)*, 2019, Vol. 9, Issue 1, pp. 37-43. Available at: [www.researchgate.net/publication/335857396](http://www.researchgate.net/publication/335857396)
  10. Gerardo Araya-Letelier, Pablo Maturana, Miguel Carrasco, Federico Carlos Antico, Maria Soledad Gomez. Mechanical-damage behavior of mortars reinforced with recycled polypropylene fibers. *Sustainability*, 2019, 11. Available at: 10.3390/su11082200
  11. Reza Keihani, Ali Bahadori-Jahromi, Timothy James Clacy. Sustainable development of medium strength concrete using polypropylene as aggregate replacement. *International Journal of Civil and Environmental Engineering*, 2019, Vol. 13, № 9, pp 588-599. Available at: [www.researchgate.net/publication/336006864\\_Sustainable\\_Development\\_of\\_Medium\\_Strength\\_Concrete\\_Using\\_Polypropylene\\_as\\_Aggregate\\_Replacement](http://www.researchgate.net/publication/336006864_Sustainable_Development_of_Medium_Strength_Concrete_Using_Polypropylene_as_Aggregate_Replacement)

12. Visweswara Sastry Dhara, Sunil kumar. K, Vimala A. Experimental investigation on mechanical and durability properties of concrete with plastic waste. *International Journal of Engineering & Technology*. 2018, № 7 (3.35), pp. 32-36
13. Sjah J., Chandra J., Rastandi J.I., Arijoeni E. The effect of usage of crushed polypropylene plastic waste in mechanical properties of concrete. *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*, 2018, Vol. 9, Issue 7, pp. 1495-1505. Available at: [www.iaeme.com/ijciyet/issues.asp?JType=IJCIET&VType=9&IType=7](http://www.iaeme.com/ijciyet/issues.asp?JType=IJCIET&VType=9&IType=7)
14. Lasco J. D. D., Madlangbayan M. S., Sundo M. B. Compressive strength and bulk density of concrete hollow blocks (CHB) with polypropylene (PP) pellets as partial replacement for sand. *Civil Engineering Journal*, 2017, Vol. 3, № 10, pp. 821-830. Available at: [dx.doi.org/10.28991/cej-030917](https://doi.org/10.28991/cej-030917)
15. Sreenath S., Harishankar S. Effect of partial replacement of fine aggregate in concrete with low density polypropylene. *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*, 2016, Vol. 7, Issue 6, pp. 635-640. Available at: [https://www.iaeme.com/MasterAdmin/uploadfolder/IJCIET\\_07\\_06\\_070.pdf](https://www.iaeme.com/MasterAdmin/uploadfolder/IJCIET_07_06_070.pdf)

**Nikichanov V. V., Chaplianko S. V. APPLICATION OF POLYPROPYLENE 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 polypropylene application in technology development of mortar and concrete for various purposes manufacturing.

Only ecological efficiency has been shown in cases of introduction:

- aggregates of 2×3 mm polypropylene in the amount of 0,68 % instead of sand`s part into medium strength concrete mix;
- aggregates of 2-5 mm polypropylene instead of sand`s part (5 %) into concrete mix grade M40.

Partial technological efficiency has been shown in cases of introduction:

- pellets of 3×5 mm polypropylene instead of sand`s part (10 %) into «ordinary» concrete (an increase in slump value and splitting tensile strength at break with a simultaneous decrease in compressive and flexural strength have been noted);

- polypropylene fibers with a length of 50 mm instead of cement`s part (1,78 % by weight) into reinforced mortar (an increase in the tensile strength with a simultaneous decrease in compressive strength have been noted);

- fragments of 3-25 mm polypropylene in an amount of 0,2 vol.% in the composition of «ordinary» concrete (an increase in split tensile and shear strength at break with a simultaneous decrease in flexural strength have been noted).

Full technological efficiency has been shown in cases of introduction:

- sand-coated polypropylene pieces 10×20×20 mm in an amount of 17 wt.% into lightweight concrete (an increase in splitting tensile strength have been noted);
- polypropylene pellets with the fines modulus 4.86 instead of sand`s part (10 %) into concrete hollow blocks (an increase in compressive strength and a decrease in bulk density have been noted);
- granules of < 4,75 mm polypropylene instead of sand`s part (10%) into concrete mix grade M25 (an increase in the split tensile, flexural and compressive strength have been noted).

The obtained results indicate feasibility, effectivity (technological, economic and ecological) and prospectivity of using polypropylene plastic waste in concrete technology manufacturing.

**Key words:** plastic waste, polypropylene, concrete, water/cement ratio, slump, density, strength.

[doi.org/10.29295/2311-7257-2018-101-3-156-166](https://doi.org/10.29295/2311-7257-2018-101-3-156-166)

УДК 624.151.2

**Болотських М.С, Болотських М.М.**

*Харківський національний університет будівництва та архітектури  
(вул. Сумська, 40, Харків, 61002, Україна; e-mail: [tgvtver@gmail.com](mailto:tgvtver@gmail.com);  
[orcid.org/000-0003-0756-7264](https://orcid.org/000-0003-0756-7264), [orcid.org/000-0002-7756-6550](https://orcid.org/000-0002-7756-6550))*

## **ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОЧОГО РЕЖИМУ ВОДОЗНИЖУВАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ ПУВВ-5МЕА В РІЗНИХ УМОВАХ ЇЇ ЗАСТОСУВАННЯ**

Наведено загальний вигляд, опис та основні характеристики універсальної установки локального вакуумного водозниження ПУВВ-5МЕА, описані найбільш характерні принципові схеми водозниження з використанням цієї установки при будівництві та експлуатації заглиблених і підземних об'єктів, отримані основні залежності і розрахункові формули для визначення ефективності робочого режиму установки в різних умовах її застосування.

**Ключові слова:** установка вакуумного водозниження, поліструйний насос, робочий режим, іглофільтри, приводна станція.