

**ЧАСТИЧНОЕ ЗАМЕЩЕНИЕ КРУПНОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ
В БЕТОНЕ ПЕНОПОЛИСТИРОЛОМ**

Медведев А.Ю., Медведева А.М., Косенко Н.Ф., Филатова Н.В.

Алексей Юрьевич Медведев, Анна Михайловна Медведева, Надежда Федоровна Косенко (ORCID 0000-0001-8806-7530), Наталья Владимировна Филатова (ORCID 0000-0001-7552-3496)*

Ивановский государственный химико-технологический университет, кафедра технологии керамики и электрохимических производств, пр. Шереметевский, 7, Иваново, Российская Федерация, 153000

E-mail: medvedevleha@yandex.ru, anna.medvedeva-iv@yandex, nfkosenko@gmail.com, zyanata@mail.ru*

Изучено частичное замещение крупного заполнителя (гранит) в цементном бетоне на гранулы пенополистирола (ППС) размерами от 1,4 до 4,0 мм в количестве 4-16 об. %. Определена удобоукладываемость бетонных масс (по осадке конуса) и прочность затвердевшего материала в зависимости от содержания ППС и сроков твердения. С увеличением содержания гранул от 0 до 16 об. % как осадка конуса, так и плотность материала снижались. Ухудшение растекаемости бетонной массы, вероятно, связано с шероховатостью гранул ППС. Положительным результатом являлось снижение плотности затвердевшего материала (на ~10 %), что будет положительно влиять на его теплопроводность. Изучены механические характеристики (прочности при сжатии и изгибе) пенополистирольных бетонов (ППСБ). Установлено, что с увеличением доли замененного крупного заполнителя прочность на сжатие и изгиб уменьшались, при этом реакция на изгибающие нагрузки ухудшалась в большей степени. Следовательно, такой материал подходит для конструкций с пониженными требованиями к прочности (неконструкционного назначения), например, для бетонных стен в каркасных зданиях. В то же время ППСБ обладает такими преимуществами, как пониженная плотность и хорошие теплоизоляционные свойства.

Ключевые слова: пенополистиролбетон, пенополистирол, удобоукладываемость, плотность, прочность при сжатии и изгибе.

**PARTIAL REPLACEMENT OF THE COARSE AGGREGATE IN CONCRETE WITH
EXPANDED POLYSTYRENE**

Medvedev A. Yu., Medvedeva A.M., Kosenko N.F., Filatova N.V.

Aleksey Yu. Medvedev, Anna M. Medvedeva, Nadezhda F. Kosenko, Natalya V. Filatova*

Department of Ceramics Technology and Electrochemical Production, Ivanovo State University of Chemistry and Technology, Sheremetev av., 7, Ivanovo, 153000, Russia

E-mail: medvedevleha@yandex.ru, anna.medvedeva-iv@yandex, nfkosenko@gmail.com, zyanata@mail.ru*

Partial replacement of the coarse aggregate (granite) in concrete with expanded polystyrene (EPS) granules with a size of 1.4-4.0 mm in the amount of 4-16 vol. %. The workability of concrete masses and the strength of the hardened material depending on the content of EPS and the hardening time are determined. The mechanical characteristics (compressive and bending strength) of expanded polystyrene concrete (EPSC) have been studied. It was found that with an increase in the proportion of replaced coarse aggregate, workability, density, compressive strength and flexural strength decreased, while the response to bending loads deteriorated to a greater extent. Therefore, this material is suitable for structures with reduced strength requirements (non-structural purpose), for example, for concrete walls in frame buildings. At the same time, EPSC has such advantages as reduced density and good thermal insulation properties.

Keywords: expanded polystyrene concrete, expanded polystyrene, workability, density, compressive and flexural strength

ВВЕДЕНИЕ

Пенополистиролбетон (ППСБ) – композиционный строительный материал, в котором как заполнитель использован пенополистирол (ППС), а в качестве вяжущего – портландцемент. ППСБ может также содержать песок, крупный заполнитель, различные добавки [1-3]. Гранулированный ППС придает продукции тепло- и звукоизолирующие свойства, а классическая бетонная основа обеспечивает прочностные показатели материала. ППСБ имеет низкую плотность (150–600 кг/м³), марку по прочности от В0,5 до В2,5 (в зависимости от плотности), хорошую морозостойкость (не ниже марки F100), огнезащитные свойства, длительный срок эксплуатации. Прочность на растяжение соответствует ГОСТ 25820-83 "Легкий бетон на пористых заполнителях" (класс В12). Теплопроводность от 0,55 до 0,12 Вт/(м·К) [4].

Для ППСБ характерны следующие преимущества: низкая материалоемкость производства и себестоимость; снижение эксплуатационных затрат на теплоизоляцию и отопление; хорошие звукоизоляционные свойства; удобство обработки и монтажа; высокая скорость и технологичность строительного процесса; материал относится к слабогорючим (класс Г1), что позволяет применять его для возведения зданий и сооружений, строительные конструкции которых относятся к I категории огнестойкости; материал хорошо зарекомендовал себя в условиях отрицательных температур, не подвержен гниению и не служит средой обитания для плесени, грибов и микроорганизмов; экологически безопасен; имеет высокую долговечность [5-13].

Важным фактором, стимулирующим производство, является возможность использования вторичного сырья и продуктов переработки ППС, в том числе отходов упаковки и тары [14]. Пенополистирол (ППС) является очень популярным пластиковым упаковочным материалом. Он прак-

тически не поддается биологическому разложению и разлагается сотни лет в случае захоронения на свалке, в то время как другие методы утилизации или обработки создают опасное воздействие на окружающую среду. Однако известно, что этот материал обладает такими свойствами, как звукоизоляция, высокая теплопроводность и низкая масса, что делает его отличной добавкой в бетон [6,15,16].

Проведенные в последнее время исследования показали, что данный материал способен улучшать свойства бетона при частичном замещении крупнозернистого заполнителя [17-19]. Это может послужить серьезным прорывом в строительной отрасли, поскольку он не только улучшает свойства бетона, но и влияет на степень деградации окружающей среды, снижает себестоимость производства бетона, а также помогает решить проблему утилизации отходов [20,21,22].

Легкие бетоны могут использоваться в различных областях строительства, в т.ч. для ремонта деревянных полов старых зданий, несущих стен с низкой теплопроводностью, мостовых настилов, плавучих причалов и т.д. Для этих применений приоритетным является максимально легкий материал, т.е. с плотностью 0,5 т/м³; при этом прочность имеет меньшее значение [23-26].

Целью исследования было определение удобоукладываемости, плотности и механических свойств цементного бетона, содержащего ППС для частичной замены крупного заполнителя.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В работе использовали полистирол вспенивающийся "Альфапор" (СИБУР) марки 201 с размерами гранул 1,4-4,0 мм (рис. 1), ТУ 2214-019-53505711-2010; портландцемент марки М500; песок строительный отсеянный с плотностью 2400 кг/м³ и насыпной плотностью 1640 кг/м³; крупный гранитный заполнитель (5-20 мм). Насыпная плотность гранул ППС 10,5 кг/м³.

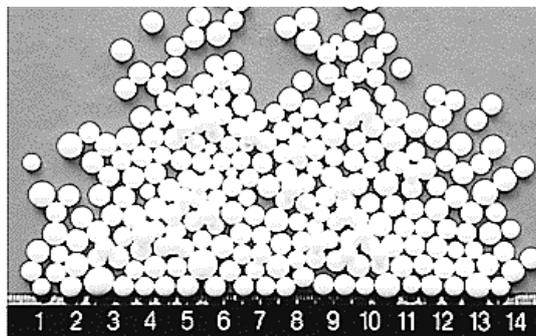


Рис. 1. Гранулы пенополистирола
Fig. 1. Expanded polystyrene granules

В проведенных опытах часть крупного заполнителя заменяли гранулами ППС, причем степень замены определяли по объему. Твердые компоненты предварительно смешивали вручную, а затем добавляли воду. Полученную массу заливали в формы тремя равными слоями и уплотняли, чтобы избежать образования пустот. Твердение проходило во влажной атмосфере; в течение срока твердения 3-28 образцы полностью погружали в воду. Затвердевшие образцы кубической формы показаны на рис. 2.



Рис. 2. Образцы ППСБ в формах
Fig. 2. EPSC samples in moulding boxes

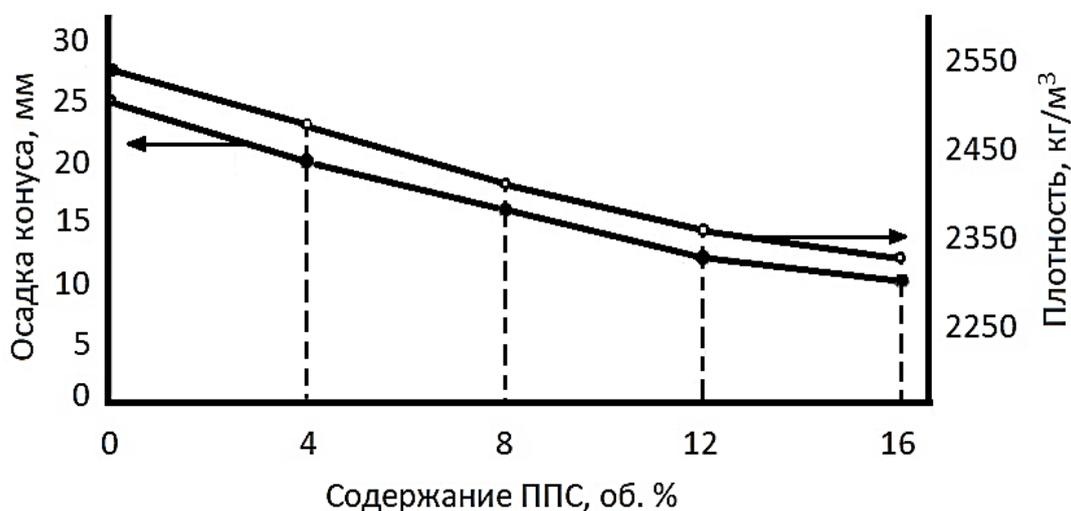


Рис. 3. Влияние содержания ППС на осадку конуса и плотность затвердевшего материала
Fig. 3. Effect of PPS content on cone slump and solidified material density

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Важной характеристикой бетонных масс является их способность формоваться, т.е. полностью заполнять форму без особых усилий. Оценку формуемости массы выполняли с помощью осадки конуса (рис. 3).

Отчетливо видно симбатное и пропорциональное изменение осадки конуса и плотности материала. Ухудшение растекаемости бетонной массы, вероятно, связано с шероховатостью гранул ППС. Вместе с тем, с увеличением количества вводимого ППС отмечается положительный факт – снижение плотности затвердевшего материала (на ~10 %), что будет положительно влиять на его теплопроводность.

На рис. 4 приведены данные по прочности ППСБ. Полученные данные свидетельствуют о том, что с увеличением доли замененного крупно-

го заполнителя прочность на сжатие и изгиб уменьшались, при этом реакция на изгибающие нагрузки ухудшалась в большей степени.

Следовательно, бетон, содержащий ППС, подходит для конструкций с пониженными требованиями к прочности, т.е. элементов неконструкционного назначения.

В то же время ППСБ обладает такими преимуществами, как пониженная плотность и хорошие теплоизоляционные свойства. Примером использования ППСБ могут служить бетонные стены в каркасных зданиях, где основную нагрузку несет каркас.

В результате снизятся затраты на материалы, возведение сооружения, эксплуатационные расходы, улучшится тепло- и звукоизоляция в помещениях; за счет уменьшения собственной нагрузки (веса) здания удешевится фундамент.

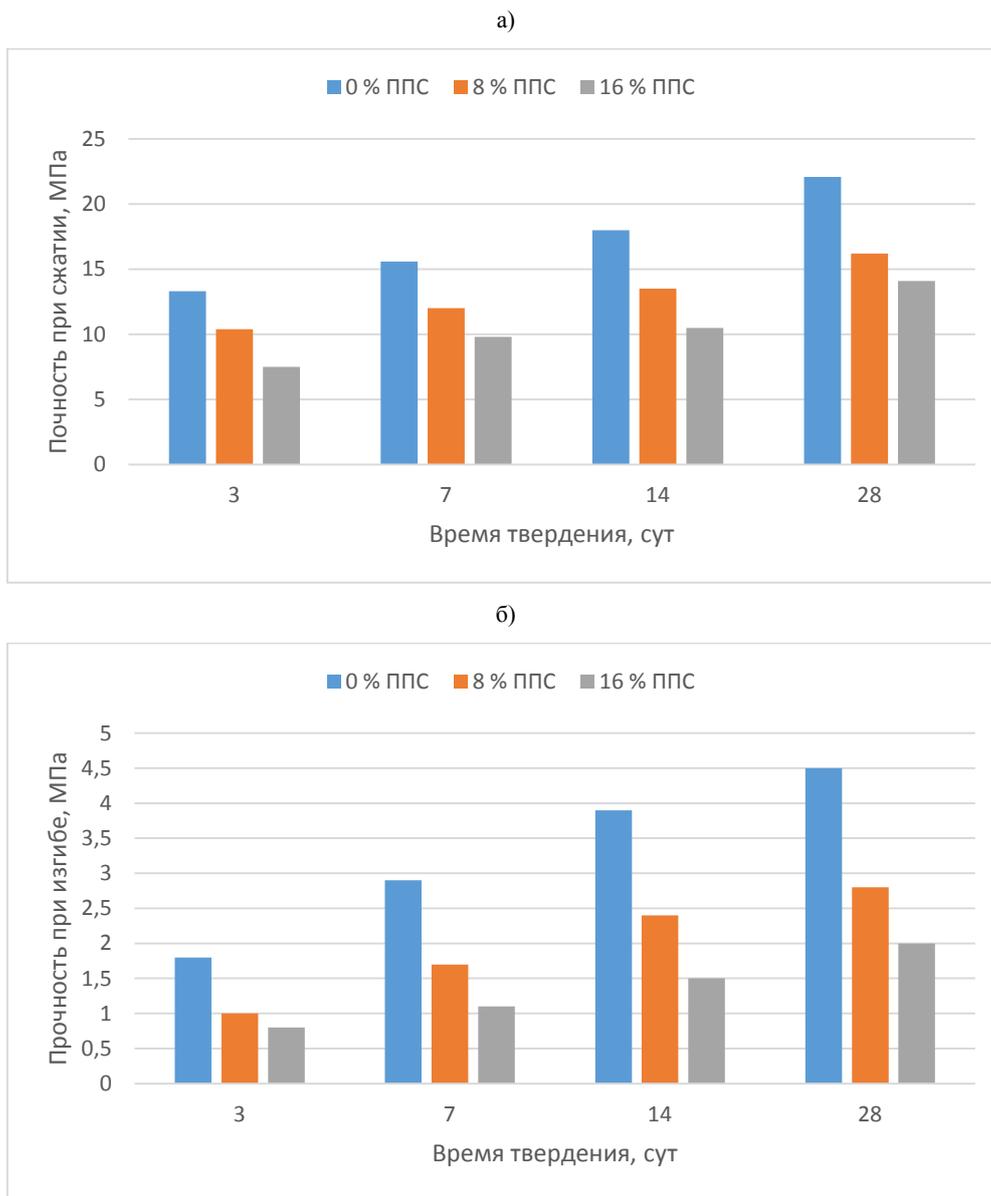


Рис. 4. Прочность ППСБ при сжатии (а) и изгибе (б) в зависимости от времени твердения бетона и содержания пенополистирола
 Rice. 4. Compressive (a) and bending

(b) strength of EPSC depending on the time of concrete hardening and the content of expanded polystyrene

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлено, что при частичном замещении крупного заполнителя (гранита) в бетоне на гранулы пенополистирола (1,4-4,0 мм) в количестве 4-16 об. %. Удобоукладываемость бетонной массы (по осадке конуса) и прочность затвердевшего материала на сжатие и изгиб уменьшались с ростом количества вводимого ППС, при этом реакция на изгибающие нагрузки ухудшалась в большей степени. Как положительный факт отмечено снижение плотности бетона на ~10 %.

Такой материал может быть использован для конструкций с пониженными требованиями к прочности (неконструкционного назначения).

Работа выполнена в рамках государственного задания на выполнение НИР (Тема № FZZW-2024-0004).

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

The authors declare the absence a conflict of interest warranting disclosure in this article.

ЛИТЕРАТУРА

REFERENECES

1. **Li Y., Liu N., Chen B.** Properties of lightweight concrete composed of magnesia phosphate cement and expanded polystyrene aggregates. *Mater. Struct.* 2015. V. 48. N. 1-2. P. 269–276. DOI: 10.1617/s11527-013-0182-6.
2. **Ferrándiz-Mas V., Bond T.,** García-Alcofel E., Cheeseman C.R. Lightweight mortars containing expanded polystyrene and paper sludge ash // *Constr. Build. Mater.* 2014. V. 61. P. 285–292. DOI: 10.1016/j.conbu-ildmat.2014.03.028.
3. **Pziczek A., Schackow A., Eftting C., Dias T.F., Gomes I.R.** Properties of mortars containing tire rubber waste and expanded polystyrene (EPS) // *J. Urban Environ. Eng.* 2017. V. 11. N. 2. P. 219–225. DOI: 10.4090/juee.2017.v11n2.219225.
4. Полимер инфо. Применение пенополистиролбетона в строительстве. Все о пластике и полимерных материалах. 2024. <https://polimerinfo.com>.
5. **Sulong N.P.R., Mustapa S.A.S., Rashid M.K.** Application of Expanded Polystyrene (EPS) in Buildings and Construction: A Review // *Journal of Applied Polymer Science.* 2019. V. 136. N. 20. Art. 47529. DOI: 10.1002/app.47529.
6. **Gencel O., Díaz J.J. del Coz, Sütçü M., Kocyigit F., Rabanal F.P.A.,** Alonso-Martinez M., Barrera G.M. Thermal performance optimization of lightweight concrete/EPS layered composite building blocks // *Int. J. Thermophys.* 2021. V. 42. N. 4. P. 1–14. DOI: 10.1007/s 10765-021-02804-1.
7. **Ni X., Wu Z., Zhang W., Lu K., Ding Y., Mao S.** Energy utilization of building insulation waste expanded polystyrene: pyrolysis kinetic estimation by a new comprehensive method // *Polymers.* 2020. V. 12. N. 8. Art. 1744. DOI: 10.3390/polym12081744.
8. **Shafiq P., Asadi I., Mahyuddin N.B.** Concrete as a thermal mass material for building applications-a review. // *J. Build. Eng.* 2018. N. 19. P. 14–25. DOI: 10.1016/j.job.2018.04.021.
9. **Samouh H., Rozière E., Wisniewski V., Loukili A.** Consequences of longer sealed curing on drying shrinkage, cracking and carbonation of concrete // *Cem. Concr. Res.* 2017. V. 95. P. 117–131. DOI: 10.1016/j.cemconres.2017.02.019.
10. **Sayadi A.A., Tapia J.V., Neitzert T.R., Clifton G.C.** Effects of expanded polystyrene (EPS) particles on fire resistance, thermal conductivity and compressive strength of foamed concrete // *Constr. Build. Mater.* 2016. V. 112. P. 716–724. DOI: 10.1016/j.conbuilddmat.2016.02.218.
11. **Akinyemi B.A., Ojediran J., Olawale O., Ayanwola S.** Efficacy of expanded polystyrene as fine aggregate in cement mortars modified with latex paint as an alternative to polymer admixture // *J. Mech. Behav. Mater.* 2020. V. 29. N. 1. P. 163–168. DOI: 10.1515/jmbm-2020-0016.
12. **Khatib J., Herki B., Elkordi A.** Characteristics of concrete containing EPS, in book: *Use of Recycled Plastics in Eco-efficient Concrete.* 2019. pp. 137–165. DOI: 10.1016/B978-0-08-102676-2.00007-4.
13. **Gomes M.G.,** Flores-Colen I., da Silva F., Pedroso M. Thermal conductivity measurement of thermal insulating mortars with EPS and silica aerogel by steady-state and transient methods. // *Constr. Build. Mater.* 2018. V. 172. P. 696–705. DOI: 10.1016/j.conbuilddmat.2018.03.162.
14. **Chaukura N., Gwenzi W., Bunhu T., Ruziwa D.T.,** Pumure I. Potential uses and value-added products derived from waste polystyrene in developing countries: a review // *Resour. Conserv. Recycl.* 2016. V. 107. P. 157–165. DOI: 10.1016/j.resconrec.2015.10.031.
15. **Ubi S.E., Ewa D.E., Bessong A.R., Nyah E.D.** Effects of Incorporating Expanded Polystyrene in Concrete Construction // *Journal of Building Construction and Planning Research.* 2022. N.10. P. 79-101. DOI: 10.4236/jbcpr.2022.103004.
16. **Ferrándiz-Mas V., Sarabia L.A., Ortiz M.C., Cheeseman C.R.,** García-Alcofel E., Design of bespoke lightweight cement mortars containing waste expanded polystyrene by experimental statistical methods // *Mater. Des.* 2016. V. 89. P. 901–912. DOI: 10.1016/j.matdes.2015.
17. **Herki B.A., Khatib J.M., Negim E.M.** Lightweight Concrete Made from Waste Polystyrene and Fly Ash // *World Applied Science Journal.* 2013. V. 21.P.1356-1360. DOI: 10.5829/idosi.wasj.2013.21.9.20213.
18. **Tamut T., Praghu R., Venkatarmana K., Yaragal, S.C.** Partial Replacement of Coarse Aggregate by Expanded Polystyrene Beads in Concrete // *Int. J. Res. Eng. Technol.* 2014. N. 3. P. 238-241. DOI: 10.15623/ijret.2014.0302040.
19. **Liu N., Chen B.** Experimental study of the influence of EPS particle size on the mechanical properties of EPS lightweight concrete // *Constr. Build. Mater.* 2014. V. 68. P. 227–232. DOI: 10.1016/j.conbuilddmat.2014.06.062.
20. **Ubi S.E., Obun P.N., Reagan B.A., Tom T., Agbor M.** Effect of Damp and Treatment Methods on Residential Buildings in Calabar Metropolis of Cross River State // *Int. J. Res. GRANTHAALAYAH.* 2020. V. 8. N. 8. P. 372–376. DOI: 10.29121/granthaalayah.v8.i8.2020.1206.
21. **Амануллаева Г.И., Байрамова З.Э., Эминова А.М.** Исследование образцов бетона, полученных из керамических отходов. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2024. Т. 67. Вып. 3. С. 80-85. DOI: 10.6060/ivkkt.20246703.6813
22. **Amanullayeva G.I., Bayramova Z.E., Eminova A.M.** Research of concrete sampling obtained from ceramic waste. *ChemChemTech [Изв. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.].* 2024. V. 67. N 3. P. 80-85. DOI: 10.6060/ivkkt.20246703.6813.
23. **Abed H.S.** Production of lightweight concrete by using construction lightweight wastes // *Eng. Technol. J.* 2019. V. 37. N. 1A. P. 12-19. DOI: 10.30684/etj.37.1A.3.
24. **Bedanta S., Mishra S., Rout A.K., Mohanty A., Parida A.P.** Expanded Polystyrene Concrete // *Int. J. Res. Appl. Sci. Eng. Technol.* 2022. V. 10. N. 5. P. 1466–1470. DOI: 10.22214/ijraset.2022.42547.
25. **Kabay N., Kizilkanat A.B., Tüfekçi M.M.** Effect of prewetted pumice aggregate addition on concrete properties under different curing conditions // *Period. Polytech. Civ. Eng.* 2016. V. 60. N. 1. P. 89–95. DOI: 10.3311/PPci.7767.
26. **Aslam M., Shafiq P., Jumaat M.Z.** Drying shrinkage strain of palm-oil by-products lightweight concrete: a comparison between experimental and prediction models // *KSCE J. Civ. Eng.* 2018. V. 22. N. 4. P. 4997–5008. DOI: 10.1007/s12205-017-0630-x.
27. **Shafiq P., Ghafari H., Mahmud H.B., Jumaat M.Z. A** comparison study of the mechanical properties and drying shrinkage of oil palm shell and expanded clay lightweight aggregate concretes // *Mater. Des.* 2014. V. 60. N. 5. P. 320–327. DOI: 10.1016/j.matdes.2014.04.001.

Поступила в редакцию (Received) 10.05.2024

Принята к опубликованию (Accepted) 10.07.2024