

В.Л. ХЛОПУК

АО «НИЦ «Строительство», 2-я Институтская ул., д. 6, к. 1,
г. Москва, 109428, Российская Федерация

ИСТИРАЕМОСТЬ БЕТОНА ИЗ СУХОЙ САМОУПЛОТНЯЮЩЕЙСЯ НАПРЯГАЮЩЕЙ БЕТОННОЙ СМЕСИ

Аннотация

Введение. В мировой практике все чаще применяется самоуплотняющийся бетон, имеющий высокую удобоукладываемость без дополнительных (вибрационных) усилий. Также известен напрягающий бетон, способный увеличиваться в объеме при твердении, а в условиях ограничения деформаций расширения – самонапрягаться, создавая собственное внутреннее напряженное состояние, которое нейтрализует проявление усадки.

Цель. Определение истираемости бетона, изготовленного из сухой самоуплотняющейся напрягающей бетонной смеси.

Материалы и методы. Использовались сухие самоуплотняющиеся напрягающие бетонные смеси. Определение истираемости проводилось по ГОСТ 13087-81 с использованием круга истирания.

Результаты. Полученные результаты показали, что марка по истираемости G1 (низкая) соответствует большинству образцов, что указывает на высокую твердость материала.

Выводы. Высокая твердость материала приводит к низкой истираемости, что делает его пригодным для использования в конструкциях с высокой нагруз-

кой. Необходимо дальнейшее исследование влияния различных добавок на свойства самоуплотняющихся бетонов.

Ключевые слова: сухая самоуплотняющаяся напрягающая бетонная смесь, самоуплотняющийся бетон, СУБ, напрягающий бетон, расширяющая добавка, сухая бетонная смесь, истираемость

Для цитирования: Хлопук В.Л. Истираемость бетона из сухой самоуплотняющейся напрягающей бетонной смеси // *Бетон и железобетон*. 2025. № 1 (626). С. 66–71. DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-1\(626\)-66-71](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-1(626)-66-71). EDN: JOPAGY

Вклад автора

Автор берет на себя ответственность за все аспекты работы над статьей.

Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 20.01.2025

Поступила после рецензирования 13.02.2025

Принята к публикации 20.02.2025

ABRADABILITY OF CONCRETE FROM DRY SELF—COMPACTING SELF— STRESSING CONCRETE MIX

Abstract

Introduction. In world practice, self-compacting concrete is increasingly used, which has high workability without additional (vibration) efforts. Straining concrete is also known, which is capable of increasing in volume during hardening, and under conditions of limited expansion deformations, it can self-strain, creating its own internal stress state, which neutralizes the manifestation of shrinkage.

Aim. Determination of the abrasability of concrete made from a dry, self-sealing, straining concrete mixture.

Materials and methods. Dry self-sealing straining concrete mixes were used. The determination of abrasability was carried out according to State Standard 13087-81 using an abrasion circle.

Results. The results showed that the abrasion grade G1 (low) corresponds to the majority of samples, which indicates the high hardness of the material.

Conclusions. The high hardness of the material leads to low abrasability, which makes it suitable for use in high-load structures. Further investigation of the effect of var-

ious additives on the properties of self-sealing concretes is necessary.

Keywords: dry self-compacting self-stressing concrete mix, self-compacting concrete, self-stressing concrete, expansion agent, dry concrete mix, abrasability

For citation: Khlopuk V.L. Abradability of concrete from dry self-compacting self-stressing concrete mix. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2025, no. 1 (626), pp. 66–71. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-1\(626\)-66-71](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2025-1(626)-66-71). EDN: JOPAGY

Author contribution statement

The author takes responsibility for all aspects of the paper.

Funding

No funding support was obtained for the research.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.

Received 20.01.2025

Revised 13.02.2025

Accepted 20.02.2025

Введение

Наличие малонаселенных, труднодоступных мест и мест, пострадавших от стихий и бедствий, требующих устройства и воссоздания конструкций и инфраструктуры с минимальными затратами труда и капитальных вложений, побудило к разработке универсального материала, т. е. сухой самоуплотняющейся напрягающей бетонной смеси, основанной на свойствах самоуплотняющихся и напрягающих бетонных смесей и бетонов.

В соответствии с ГОСТ 25192-2012 [1] самоуплотняющийся бетон – это бетон, изготовленный из бетонной смеси, способной уплотняться под действием собственного веса. Иными словами, это бетонная смесь, которая без воздействия внешних сил уплотнения (вибрирования) и самостоятельно под воздействием собственного веса течет, освобождается от воздуха и заполняет пространство между опалубкой сооружения и арматурными стержнями. Самоуплотняющаяся бетонная смесь имеет улучшенную текучесть, высокую плотность при низком содержании воды.

Эффективное применение самоуплотняющихся или бетонов гравитационного уплотнения позволяет: бетонировать густоармированные конструкции сложной формы, для которых затруднено использование вибраторов; снизить шум и вибрацию; сократить сроки строительства; обеспечить однородную бездефектную структуру бетона за счет исключения человеческого фактора при укладке и уплотнении бетонной смеси.

Среди большой гаммы бетонов особое место занимают напрягающий бетон и бетон с компенсированной усадкой – материалы с уникальными свойствами, конкурирующими по ряду показателей с керамикой и полимерами. Согласно ГОСТ 32803-2023 [2] напрягающий бетон – это бетон, содержащий в качестве вяжущего напрягающий цемент или портландцемент с расширяющей добавкой, обеспечивающие расширение бетона в процессе его твердения.

Применение таких бетонов позволяет за счет регулируемого расширения в процессе твердения нейтрализовать проявление усадки и создать в железобетонной конструкции предварительное напряжение всей находящейся в ней и растягиваемой при этом арматуры за счет сцепления с бетоном.

Применение напрягающего бетона может решить следующие задачи: отказаться от гидроизоляции; повысить трещиностойкость; обеспечить водонепроницаемость; обеспечить стойкость к агрессивным щелочам и кислотам; сократить количество арматуры и обеспечить предварительное напряжение химическим способом; обеспечить надежность и долговечность конструкций; сократить сроки строительства, а при эксплуатации – сроки межремонтных работ.

Объединение свойств вышеуказанных бетонов позволило создать и испытать свойства бетонной смеси

и бетона, изготовленного из сухой самоуплотняющейся напрягающей бетонной смеси.

Определение истираемости, т. е. способности материала изменяться в объеме и массе под действием истирающих усилий, является одним из показателей долговечности бетона и служит логическим продолжением испытаний свойств бетона, изготовленного из сухой самоуплотняющейся напрягающей бетонной смеси.

Цель

Показатель истираемости важен для определения срока службы бетонных конструкций, особенно подвергающихся интенсивным нагрузкам, таких как дорожные покрытия, тротуары, промышленные полы, лестницы, переходы и перекрытия. Чем выше устойчивость бетона к истиранию, тем дольше он сохраняет свои первоначальные характеристики и обеспечивает безопасность эксплуатации.

Целями определения истираемости бетона являются: оценка качества бетона и его устойчивость к нагрузкам во время транспортировки, хранения и эксплуатации; прогнозирование долговечности конструкций; определение наиболее подходящей области применения.

Материалы и методы

Для приготовления сухой самоуплотняющейся напрягающей бетонной смеси были применены следующие материалы: портландцемент 500-Д0-Н по ГОСТ 10178-85 [3], производства ООО «ХайдельбергЦемент Рус» (Тульская обл.); комплексная расширяющая добавка для самоуплотняющейся бетонной смеси, изготовленная автором в соответствии с патентом RU 2 724 083 C1 [4]; песок кварцевый фракционированный (фр. 0,4–0,8 и 0,8–1,6) по ТУ 5717-001-92392203-2016, производства ООО «Кварцевые пески» (Нижегородская обл.); песок из отсевов дробления базальта (фр. 0–5) по ГОСТ 31424-2010 [5], производства ООО «Булатовский базальт» (Архангельская обл.); щебень гранитный (фр. 5–10) по ГОСТ 8267-93 [6], производства ООО «Карьероуправление «Мосавтодор» (Республика Карелия).

Из полученной сухой самоуплотняющейся напрягающей бетонной смеси были изготовлены образцы бетона. Из них 4 образца (рис. 1) плотностью 2413 г/см³, возрастом 56 суток, размерами около 70 × 70 мм и средней высотой 25,6 мм были подготовлены для определения истираемости.

Испытания бетонных образцов по показателю «истираемость» выполнялись в соответствии с ГОСТ 13087-2018 [7] на истирательном круге ЛКИ-3 (рис. 2) с использованием шлифзерна № 16 по ГОСТ 3647-80 [8] с насыпной плотностью (1,72 ± 0,05) г/см³.

Полный период испытаний длился четыре цикла. Каждый цикл составлял 150 м пути. После каждых 30 м или 28 кругов для истирательного круга

ЛКИ-3 образцы снимали с установки и меняли абразивный порошок. Истиранию подвергали нижнюю (при бетонировании) грань образца. Перед испыта-

нием образцы взвешивали и измеряли площадь истираемой грани. Также взвешивали образцы после четырех циклов испытаний.



Рис. 1. Бетонные образцы до испытаний на истираемость
Fig. 1. Concrete samples before abrasability tests



Рис. 2. Испытательный круг ЛКИ-3, процесс испытания образцов на истираемость
Fig. 2. LKI-3 test circle, the process of testing of the samples for abrasability

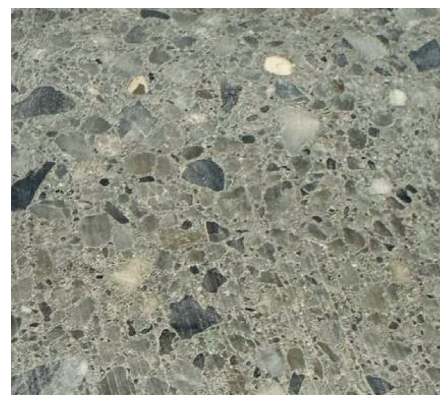


Рис. 3. Образцы бетона после испытаний на истираемость (слева направо: общий вид испытанных образцов, вид с торца, укрупненный вид со следами шлифовки)
Fig. 3. Concrete samples after abrasability tests (from left to right: general view of the tested samples, end face view, enlarged view with traces of grinding)

Марку по истираемости бетона на круге истирания G в г/см^2 , характеризующую потерей массы образца, определяют с погрешностью до $0,1 \text{ г/см}^2$ для отдельного образца по формуле:

$$G_1 = \frac{m_1 - m_2}{F},$$

где m_1 – масса образца до испытания, г;

m_2 – масса образца после 4 циклов испытания, г;

F – площадь истираемой грани образца, см^2 .

Результаты испытаний представлены в табл. 1.

Марка по истираемости обычных товарных бетонов, в том числе изготовленных из сухих смесей,

соответствует $G3$ ($0,9 \text{ г/см}^2$), при средних значениях – $0,87 \text{ г/см}^2$. Напрягающие бетоны, за счет их плотной структуры, имеют марку $G1$ ($0,7 \text{ г/см}^2$), при средних значениях – $0,57 \text{ г/см}^2$.

Испытанные образцы самоуплотняющегося напрягающего бетона имеют средний показатель истираемости $0,415 \text{ г/см}^2$, что почти вдвое ниже значения для марки по истираемости $G1$ ($0,7 \text{ г/см}^2$) и немного лучше средних значений напрягающих бетонов. В соответствии с ГОСТ 13015-2012 [9, п. 5.6.11] данный бетон может применяться в конструкциях, работающих в условиях повышенной интенсивности движения: аэродромные и дорожные плиты; мосты и путепроводы; фундаментные плиты и плоскостные конструкции;

Таблица 1

Table 1

Истираемость бетона
Abradability of concrete

Вид образцов	Номер образца	Масса образцов до испытаний, m_1 , г	Масса образцов после испытаний, m_2 , г	Разница по массе, $m_1 - m_2$, г	Площадь истираемой поверхности, F , см ²	Истираемость образца, G , г/см ²	Средняя истираемость образцов, G , г/см ²
Бетон на 56 сутки	1	283,5	263,1	20,4	48,58	0,42	0,415
	2	327,3	306,8	20,5	50,12	0,41	
	3	282,5	262,8	19,7	48,09	0,41	
	4	317,6	296,4	21,2	49,14	0,43	

полы общественных, промышленных и животноводческих предприятий и т. д.

Выводы

Проведенные испытания на истираемость бетонных образцов, изготовленных из сухой самоуплотняющейся напрягающей бетонной смеси, показали, что помимо удобоукладываемости, самоупрежения, прочностных характеристик и водонепроницаемости данные образцы обладают высокими эксплуатационными характеристиками и долговечностью.

Сухие самоуплотняющиеся напрягающие бетонные смеси и изготовленные на их основе бетоны могут, без дополнительных мероприятий по пропитке бетона или топинга, применяться для ремонтно-восстановительных работ в жилых, общественных, промышленных зданиях и сооружениях, в малонаселенных, труднодоступных местах и местах, пострадавших от стихий и бедствий при устройстве плоскостных конструкций, в том числе полов, отмосток и рамп и т. п.

Список литературы

- ГОСТ 25192-2012. Бетоны. Классификация и общие технические требования. Москва: Стандартинформ, 2013.
- ГОСТ 32803-2023. Бетоны напрягающие. Технические условия. Москва: Российский институт стандартизации, 2024.
- ГОСТ 10178-85. Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия.
- Титов М.Ю., Титова Л.А., Бейлина М.И., Хлопук В.Л. Комплексная расширяющая добавка для самоуплотняющейся бетонной смеси. Патент RU 2 724 083 C1. Оpubл. 19.06.2020.
- ГОСТ 31424-2010. Материалы строительные нерудные из отсеков дробления плотных горных пород при производстве щебня. Технические условия.
- ГОСТ 8267-93. Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия.

- ГОСТ 13087-2018. Бетоны. Методы определения истираемости. Москва: Стандартинформ, 2019.
- ГОСТ 3647-80. Материалы шлифовальные. Классификация. Зернистость и зерновой состав. Методы контроля. Москва: ИПК Издательство стандартов, 1997.
- ГОСТ 13015-2012. Изделия бетонные и железобетонные для строительства. Общие технические требования. Правила приемки, маркировки, транспортирования и хранения. Москва: Стандартинформ, 2014.
- Хлопук В.Л., Бейлина М.И., Титов М.Ю. Самоуплотняющийся напрягающий бетон // *БСТ: Бюллетень строительной техники*. 2018. № 11 (1011). С. 16–19.
- Хлопук В.Л., Бейлина М.И., Титов М.Ю. Определение реологических характеристик самоуплотняющихся бетонов в российских и зарубежных нормативных документах // *Промышленное и гражданское строительство*. 2019. № 2. С. 39–45. DOI: <https://doi.org/10.33622/0869-7019.2019.02.39-45>
- Титова Л.А., Бейлина М.И., Хлопук В.Л., Шабалин В.А. Разработка национального стандарта на методы испытания самоуплотняющейся бетонной смеси // *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2021. № 3 (30). С. 108–116. DOI: [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2021-3\(30\)-108-116](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2021-3(30)-108-116)
- Испытания бетона на истираемость. burosi.ru. URL: <https://burosi.ru/ispytaniya-betona-na-istiraemost>
- Испытания на истираемость бетонов. trts24.ru. URL: <https://trts24.ru/article/ispytaniya-na-istiraemost-betonov>

References

- State Standard 25192-2012. Concretes. Classification and general technical requirements. Moscow: Standartinform Publ., 2013. (In Russian).
- State Standard 32803-2023. Self-stressing concrete. Specifications. Moscow: Russian Institute of Standardization, 2024. (In Russian).

3. State Standard 10178-85. Portland cement and portland blastfurnace slag cement. Specifications. (In Russian).
4. Titov M.Yu., Titova L.A., Bejlina M.I., Khlopuk V.L. Complex expanding additive for self-compacting concrete mixture. Patent RU 2 724 083 C1. Publ. date 19.06.2020. (In Russian).
5. State Standard 31424-2010. Non-metallic construction materials from sifting of crushing solid stone in aggregate manufacturing. Specifications. (In Russian).
6. State Standard 8267-93. Crushed stone and gravel of solid rocks for construction works. Specifications. (In Russian).
7. State Standard 13087-2018. Concretes. Methods of abrasion test. Moscow: Standartinform Publ., 2019. (In Russian).
8. State Standard 3647-80. Abrasives. Grain sizing. Graininess and fractions. Test methods. Moscow: Publishing house of standards, 1997. (In Russian).
9. State Standard 13015-2012. Concrete and reinforced concrete products for construction. General technical requirements. Rules for acceptance, marking, transportation and storage. Moscow: Standartinform Publ., 2014. (In Russian).
10. Khlopuk V.L., Bejlina M.I., Titov M.Yu. Selfcompacting and selfstressing concrete. *BST: Byulleten' Stroitel'noj Tehniki*. 2018, no. 11 (1011), pp. 16–19. (In Russian).
11. Khlopuk V.L., Beylina M.I., Titov M.Y. Definition of rheological characteristics of self-compacting concretes in Russian and foreign regulatory documents. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo = Industrial and Civil Engineering*. 2019, no. 2, pp. 39–45. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.33622/0869-7019.2019.02.39-45>
12. Titova L., Beylina M., Khlopuk V., Shabalin V. Development of a national standard for testing methods for self-compacting concrete mixture. *Vestnik NIC Stroitel'stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2021, no. 3 (30), pp. 108–116. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2021-3\(30\)-108-116](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2021-3(30)-108-116)
13. Concrete abrasability tests. burosi.ru. URL: <https://burosi.ru/ispytaniya-betona-na-istiraemost> (In Russian).
14. Concrete abrasability tests. trts24.ru. URL: <https://trts24.ru/article/ispytaniya-na-istiraemost-betonov> (In Russian).

**Информация об авторе /
Information about the author**

Владимир Леонидович Хлопук, индивидуальный предприниматель, аспирант, АО «НИЦ «Строительство», Москва

e-mail: vl.khlopuk@mail.ru

Vladimir L. Khlopuk, Individual Entrepreneur, Graduate Student, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: vl.khlopuk@mail.ru