

ИССЛЕДОВАНИЕ ИСТИРАЕМОСТИ СТАЛЕФИБРОБЕТОНА

А.В. Киянец

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия

Применение монолитного сталефибробетона в строительстве и при производстве монолитных и сборных строительных конструкций позволяет существенно сократить трудоемкость операций по армированию, значительно сокращает продолжительность работ. Дисперсное распределение стальной фибры в матрице бетона позволяет материалу успешно сопротивляться как сжатию, так и растяжению по всему объему материала. Поэтому сталефибробетон рекомендуется применять в элементах конструкций, работающих преимущественно на динамические и ударные нагрузки, смятие, воздействие кавитации. Ряд конструкций, где широко применяется сталефибробетон, испытывают такой вид нагрузки, как истираемость или износ. Статья посвящена изучению проблемы истираемости (износоустойчивости) сталефибробетона. Приводятся методика проведения исследований, полученные результаты, графики зависимости прочности сталефибробетона от расхода стальной фибры, истираемости сталефибробетона от расхода стальной фибры, истираемости от прочности, а также аналитические зависимости вышеперечисленных величин. Анализируются полученные результаты. На основании вышеизложенного в заключении сделаны выводы. Введение стальной фибры позволяет значительно снизить истираемость бетона (сталефибробетона) и повысить его прочность. При увеличении прочности сталефибробетона за счет введения дополнительного количества стальной фибры и (или) при использовании более высокого класса бетона истираемость снижается. В ходе исследований получена зависимость изменения истираемости от прочности сталефибробетона.

Ключевые слова: сталефибробетон, истираемость, износоустойчивость.

Сталефибробетон давно известен строителям как конструкционный материал, отличающийся от обычного бетона и железобетона своими улучшенными физико-механическими характеристиками [1, 2]. Многие исследователи отмечали его повышенные прочность на растяжение и сжатие, трещиностойкость, ударную вязкость, морозостойкость, сопротивление кавитации [3–5]. Применение монолитного сталефибробетона в строительстве и при производстве сборных строительных конструкций позволяет исключить или существенно сократить операции по монтажу арматуры [6]. Это значительно сокращает трудоемкость и продолжительность работ. Дисперсное распределение стальной фибры в матрице бетона позволяет материалу успешно сопротивляться как сжатию, так и растяжению по всему объему материала. Таким образом, прочностные характеристики сталефибробетона не зависят от пространственного расположения арматуры, в отличие от традиционного железобетона. Поэтому сталефибробетон рекомендуется применять в элементах конструкций работающих преимущественно на динамические и ударные нагрузки, смятие, воздействие кавитации.

Ряд конструкций, где широко применяется сталефибробетон, испытывают такой вид нагрузки, как истираемость или износ [7].

Истираемость (износоустойчивость) – одно из важнейших свойств для ряда конструкций, на поверхности которых происходят процессы, такие как передвижение тяжелой техники на гусеничном или колесном ходу, текущая жидкость,

воздействие от обуви. Это показатель срока службы для промышленных полов, лестничных ступеней, сточных труб, гидротехнических сооружений и т. д. [8].

Чем выше у материала конструкции способность к сопротивлению истираемости, тем медленнее происходит износ, и тем надежнее и долговечнее будет жизненный цикл поверхности (долговечнее и безопаснее будет эксплуатация) [9, 10].

Рассматривая бетонные поверхности, явления износа можно расчлнить по виду элементарных воздействий: трение сцепления, абразивное воздействие, динамические удары, вдавливание твердых предметов, местное выкрашивание и раздробление выступающих частей покрытий.

Одним из наиболее значимых (разрушающих) видов износа является абразивный износ, он подробно изучен, а существующие методы испытания позволяют численно оценить его.

В начальный момент времени (при проведении испытаний) интенсивность износа наиболее значительна, так как верхний слой бетона, воспринимающий первичные истирающие нагрузки, состоит из цементного молочка, которое после укладки и уплотнения бетонной смеси всплывает на поверхность. В последующем интенсивность истирания носит равномерный характер, так как в нижележащих слоях бетона в работу вступает крупный заполнитель, который хорошо воспринимает истирающие воздействия.

Бетоны состоят из цементного камня и заполнителей из прочных и плотных горных пород. Ха-

Строительные материалы и изделия

рактический характер износа бетона зависит от износостойкости его компонентов. Общая истираемость бетона складывается из истираемости цементного камня, истираемости заполнителя и выкрашивания бетона.

По мере истирания, т. е. по мере смещения поверхности износа в направлении более глубоких слоев бетона площадь цементного камня уменьшается, а площадь заполнителя возрастает.

Для снижения величины износа необходимо уменьшать относительную площадь цементного камня на поверхности покрытия. Размер этой площади зависит от расхода воды и цемента в бетоне. Расход воды определяется составом бетона. При постоянном расходе воды повышение расхода цемента приводит к увеличению площади цементного камня в покрытии, но в то же время повышается плотность и уменьшается истираемость цементного камня, а также возрастает сцепление и уменьшается выкрашивание заполнителей.

Для увеличения износостойчивости следует стремиться к увеличению относительной площади заполнителя в поверхности покрытия, что достигается подбором оптимального гранулометрического состава заполнителей (оптимальный гранулометрический состав заполнителей позволяет уменьшить износ цементных бетонов) или упрочнению слоя износа материала, в том числе за счет его фибрового армирования.

Теоретически при добавлении фибры в бетонную матрицу общая истираемость бетона должна уменьшиться из-за сведения к минимуму процесса выкрашивания за счет армирования слоя износа. Рельефная поверхность стальных волокон увеличит сцепление цементного камня с заполнителем, благодаря чему поверхность будет изнашиваться более равномерно [11].

Для качественной и количественной оценки влияния количества стальной фибры в составе ста-

лефибробетона на его истираемость и были проведены данные исследования.

Прочность бетона определялась по стандартной методике [12]. Для исследований использовалась стальная фибра по ТУ 1231-001-70832021-2010 [13]

Оценка истираемости бетонов и других каменных материалов производится по коэффициенту истираемости, который определяется истиранием образцов на лабораторном круге истирания ЛКИ-3 (рис. 1) по ГОСТ 13087-81, где коэффициент истираемости определяется при 560 оборотах круга и выражается по потере веса образцов в $г/см^2$ поверхности истирания [14].

Для проведения экспериментов был выбран тяжелый бетон В22,5, как наиболее часто используемый. Расход стальной фибры был выбран: 25, 50, 75, 100 кг на $1 м^3$ бетонной смеси.

Общий характер зависимостей прочности от расхода стальной фибры и истираемости от прочности коррелирует с работами других исследователей: при добавлении стальной фибры в матрицу бетона прочность материала повышается, и при повышении прочности материала снижается его истираемость (рис. 2). Варьируя процент армирования, можно регулировать прочность, а, следовательно, и истираемость сталефибробетона.

Значительное снижение истираемости можно наблюдать при введении до 25 кг стальной фибры на $1 м^3$ бетона: истираемость снижается на 20 % с $0,601 г/см^2$ до $0,478 г/см^2$. Дальнейшее увеличение содержания фибры в сталефибробетоне с 25 кг/ $м^3$ до 100 кг/ $м^3$ позволяет снизить истираемость только на 18 % с $0,478 г/см^2$ до $0,392 г/см^2$.

Прочность сталефибробетона (рис. 3) при увеличении количества вводимой стальной фибры объемом до 100 кг/ $м^3$ увеличилась на 18 % с 33,04 МПа до 39,97 МПа, что совпадает с относитель-



Рис. 1. Испытания образцов сталефибробетона на истираемость на лабораторном круге истирания ЛКИ-3

ным снижением истираемости (увеличение износостойкости).

Чтобы узнать, как будет меняться истираемость сталефибробетона, если в качестве матрицы будет выбран другой класс бетона, и справедлива ли данная зависимость, был выбран сталефибробетон с существенно отличающимися характери-

ками. Класс бетона матрицы В40 и расход фибры 150 кг/м³. Если объединить на одном графике (рис. 4) полученные результаты с предыдущими, то можно сделать вывод, что характер изменения истираемости сохраняется: чем выше прочность, тем ниже истираемость. Учитывая предыдущий опыт по данной проблеме, можно утверждать, что

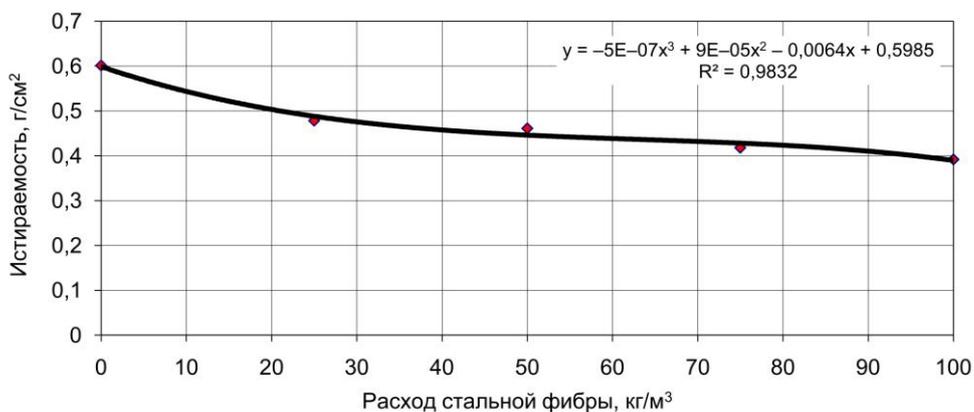


Рис. 2. Истираемость сталефибробетона в зависимости от расхода стальной фибры (процента армирования)

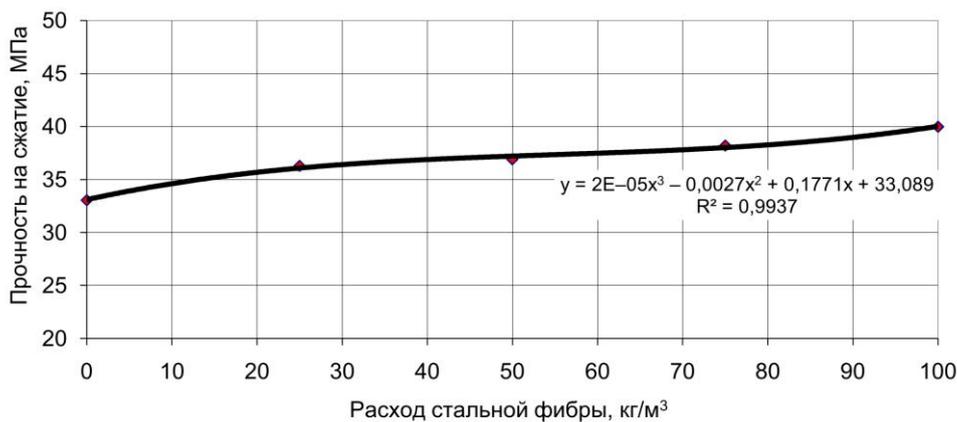


Рис. 3. Прочность на сжатие сталефибробетона в зависимости от расхода стальной фибры (процента армирования)

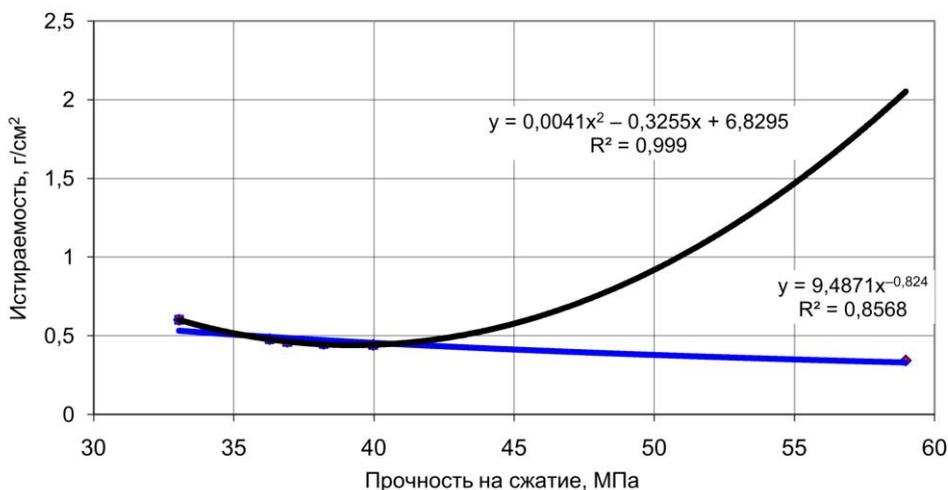


Рис. 4. Зависимость истираемости от прочности сталефибробетона

независимо от класса бетона и расхода фибры закономерность изменения истираемости от прочности сталефибробетона будет сохраняться. Для тяжелого бетона с крупным заполнителем из прочных каменных пород при расходе стальной фибры до 150 кг/м^3 зависимость истираемости от прочности сталефибробетона можно описать следующей формулой:

$$A_{\text{ит}} = 9,4871R_b^{-0,824}, \quad (4)$$

где $A_{\text{ит}}$ – истираемость сталефибробетона, г/см^2 ; R_b – прочность сталефибробетона на сжатие, МПа.

Заключение

На основании вышеизложенного, в заключении можно сделать несколько выводов.

Введение стальной фибры до 150 кг/м^3 позволяет значительно снизить истираемость бетона (сталефибробетона) до 18 %. При этих же значениях расхода фибры увеличивается прочность на сжатие на 18 %.

При увеличении прочности сталефибробетона за счет введения дополнительного количества стальной фибры и (или) при использовании более высокого класса бетона, истираемость снижается. В ходе исследований получена зависимость изменения истираемости от прочности сталефибробетона.

Полученные результаты позволяют отнести сталефибробетон к марке по истираемости G1 и рекомендовать для конструкций, работающих в условиях повышенной интенсивности движения и истирающего воздействия [15].

Литература

1. *Современные строительные технологии: моногр. / под ред. С.Г. Головнева. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2010. – 268 с.*
2. Рабинович, Ф.Н. *Композиты на основе дисперсно-армированных бетонов: учебник*

Киянец Александр Валерьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительное производство и теория сооружений», Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), kiyanets2007@mail.ru

для вузов / Ф.Н. Рабинович. – М.: Ассоциация строительных вузов, 2004. – 560 с.

3. Pogorelov, S.N. *Frost Resistance of the Steel Fiber Reinforced Concrete Containing Active Mineral Additives / S.N. Pogorelov, G.S. Semenyak // Chelyabinsk: ICIE 2016 Procedia Engineering, 2016. Vol. 150. – P. 1491–1495.*

4. Songa, P.S. *Mechanical properties of high-strength steel fiber-reinforced concrete / P.S. Songa, S. Hwangb // Construction and Building Materials, 2004. – P. 669–673.*

5. Pikus, G.A. *Steel Fiber Concrete Mixture Workability / G.A. Pikus // ICIE 2016 Procedia Engineering. – 2016. – Vol. 150. – P. 2119–2123.*

6. Pikus, G.A. *Pressure of Fiber Reinforced Concrete Mixtures on Vertical Formwork Panels International / G.A. Pikus, I.V. Manzhosov // ICIE 2017 Procedia Engineering, 2017. – Vol. 206. – P. 836–841.*

7. СП 52-104-2009. *Сталефибробетонные конструкции. – М., 2010. – 89 с.*

8. МДС 31-1.98. *Рекомендации по проектированию полов. – М., 1998.*

9. СП 29.13330.2011. *Актуализированная редакция СНиП 2.03.13-88 Полы. – М., 2011. – 69 с.*

10. *Бетонные покрытия полов промышленных зданий: учебник для вузов / под ред. О.М. Иванова. – М.: Стройиздат, 1971. – 128 с.*

11. Киянец, А.В. *Расчет истираемости бетона / А.В. Киянец // Наука ЮУрГУ. Материалы 67-й научной конференции. – Челябинск, 2015. – С. 165–169.*

12. ГОСТ 10180–2012. *Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам.*

13. ТУ 1231-001-70832021–2010. *Фибра стальная. – Челябинск., 2010. – 10 с.*

14. ГОСТ 13087–81. *Бетоны. Методы определения истираемости.*

15. ГОСТ 13015–2012. *Изделия железобетонные для строительства.*

Поступила в редакцию 20 июня 2018 г.

DOI: 10.14529/build180408

RESEARCHING ABRASION OF STEEL FIBER CONCRETE

A. V. Kiyanets, kiyanets2007@mail.ru
South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

The use of monolithic steel fiber concrete in construction and in production of monolithic and prefabricated building structures allows significantly reducing complexity of reinforcement operations, as well as reduces duration of work. Dispersed distribution of steel fiber in the concrete matrix allows the material to successfully resist both compression and tension throughout the volume

of the material. Therefore, steel fiber reinforced concrete is recommended to be used in structural elements that are working mainly on dynamic and impact loading, wrinkling, or cavitation. A number of structures, in which steel fiber reinforced concrete is widely used, experience such loads as abrasion or wear. The article regards the problem of abrasion (wear resistance) of steel fiber concrete. Methodology of the research and obtained results are presented together with graphs of dependency of steel fiber reinforced concrete's strength on the consumption of steel fibers, steel fiber concrete's abrasion on consumption of steel fibers, abrasion on strength, as well as analytical dependencies of the abovementioned values. The obtained results are analyzed. On the basis of the above mentioned, a summary is presented in conclusion. Implementation of steel fiber allows for a significantly reduction of concrete (steel fiber concrete) abrasion and enhance its strength. In the course of research, a dependency of the change in abrasion on the strength of steel fiber concrete is obtained.

Keywords: steel fiber reinforced concrete, abrasion, wear resistance.

References

1. Golovnev S.G. (Ed.) *Sovremennyye stroitel'nyye tekhnologii: monografiya* [Modern Construction Technologies: Monograph]. Chelyabinsk, South Ural St. Univ. Publ., 2010. 268 p.
2. Rabinovich F.N. *Kompozity na osnove dispersno-armirovannykh betonov: uchebnik dlya vuzov* [Composites Based on Dispersion-Reinforced Concrete: Textbook for Universities]. Moscow, Association of Construction Universities Publ., 2004. 560 p.
3. Pogorelov S.N., Semenyak G.S. [Frost Resistance of the Steel Fiber Reinforced Concrete Containing Active Mineral Additives]. Chelyabinsk, ICIE 2016 Procedia Engineering Publ., vol. 150, 2016, pp. 1491–1495. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.07.088
4. Songa P.S., Hwangb S. [Mechanical Properties of High-Strength Steel Fiber-Reinforced Concrete]. *Construction and Building Materials*, 2004, no. 18(9), pp. 669–673. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2004.04.027
5. Pikus G.A. [Steel Fiber Concrete Mixture Workability]. Chelyabinsk, ICIE 2016 Procedia Engineering Publ., vol. 150, 2016, pp. 2119–2123. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.07.250
6. Pikus G.A., Manzhosov I.V. [Pressure of Fiber Reinforced Concrete Mixtures on Vertical Formwork Panels International]. Chelyabinsk, ICIE 2017 Procedia Engineering Publ., vol. 206, 2017, pp. 836–841. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.10.560
7. SP 52-104-2009. *Stalefibrobetonnyye konstruksii* [Steel-Reinforced Concrete Structures]. Moscow, 2010. 89 p.
8. MDS 31-1.98. *Rekomendatsii po proyektirovaniyu polov* [Recommendations for Floor Design]. Moscow, 1998.
9. SP 29.13330.2011. *Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 2.03.13-88 Poly* [Updated Version of SNiP 2.03.13-88 Floors]. Moscow, 2011. 69 p.
10. Ivanova O.M. (Ed.) *Betonnyye pokrytiya polov promyshlennykh zdaniy: uchebnik dlya vuzov* [Concrete Flooring of Industrial Buildings: The Textbook for High Schools]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1971. 128 p.
11. Kiyants A.V. [Concrete Abrasion Calculation]. *Nauka YUUrGU. Materialy 67-y nauchnoy konferentsii* [Science SUSU. Materials of the 67th Scientific Conference], 2015, pp. 165–169.
12. GOST 10180-2012. *Betony. Metody opredeleniya prochnosti po kontrol'nyim obraztsam* [Concretes. Methods for Determining the Strength of the Control Samples]. Moscow, Standartinform Publ., 2013. 35 p.
13. TU 1231-001-70832021-2010. *Fibra stal'naya* [Fiber Steel]. Chelyabinsk, 2010. 10 p.
14. GOST 13087-81. *Betony. Metody opredeleniya istirayemosti* [Concretes. Method of Abrasion Test]. Moscow, Standartinform Publ., 1982. 7 p.
15. GOST 13015-2012. *Izdeliya betonnyye i zhelezobetonnyye dlya stroitel'stva* [Concrete and Reinforced Concrete Products for Construction. General Technical Requirements. Rules for Acceptance, Labeling, Transportation and Storage]. Moscow, Standartinform Publ., 2014. 28 p.

Received 20 June 2018

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Киянец, А.В. Исследование истираемости сталефибробетона / А.В. Киянец // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2018. – Т. 18, № 4. – С. 53–57. DOI: 10.14529/build180408

FOR CITATION

Kiyants A.V. Researching Abrasion of Steel Fiber Concrete. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*. 2018, vol. 18, no. 4, pp. 53–57. (in Russ.). DOI: 10.14529/build180408