

УДК 691.32:69.04:693.554-486:691.327

**ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ НАНОФИБРОБЕТОНА ПО УДЕЛЬНЫМ ЗАТРАТАМ**

Садовская Елена Александровна, профессор Леонович Сергей Николаевич  
Белорусский национальный технический университет, Республика Беларусь

E-mail: [sadovcskayea@bntu.by](mailto:sadovcskayea@bntu.by)

**Аннотация.** Требуемая вязкость разрушения (трещиностойкости) конструкционного бетона может обеспечиваться многоуровневым армированием: на уровне кристаллического сростка цементного камня – углеродные нанотрубки, а на уровне мелкозернистого бетона – различные фибровые волокна макроразмера (стальная, полимерная) – нанофибробетон [1-4]. Оценка экономической эффективности разработанных составов может быть проведена по критерию удельных затрат на сырьевые материалы фибробетона и бетонной матрицы с углеродными нанотрубками (УНТ).

**Ключевые слова:** нанофибробетон, углеродные нанотрубки, трещиностойкость, фибробетон, удельные затраты

Затраты на сырьевые материалы для фибробетона оказываются в 1,05-2,6 раза больше, чем затраты на материалы для изготовления бетона-матрицы модифицированной нанотрубками. Однако бетон с многоуровневым дисперсным армированием - материал с высоким уровнем свойств, в частности сопротивлением росту и распространению трещин, а также прочности на растяжение [4-5]. Оценка экономической эффективности разработанных составов [1-6] по критерию удельных затрат на сырьевые материалы фибробетона и бетонной матрицы с УНТ, которые оценивались по формуле:

$$Z_y = \frac{C}{F} \cdot \frac{\text{бел.руб/м}^3}{\text{МПа}}, \quad (1)$$

где C – стоимость материалов для изготовления смеси; F – параметр, характеризующий свойства материала.

Для расчета экономической эффективности из преискурантов заводов-производителей были взяты стоимостные показатели основных компонентов: Цемент М500-Д0, щебень, песок, расширяющая добавка, микрокремнезем конденсированный, наноструктурированные добавки АРТ-КонкритР и РуФикс-500Б, фибра (металлическая проволочная анкерная, волнистая из стального листа, полимерная, базальтовая, полипропиленовая, стальная микрофибра).

Стоимость смеси (С) определялась ее составом и стоимостью компонентов (без учета воды) по формуле:

$$C = \sum(C_{k_i} \cdot P_{k_i}) \quad (2)$$

где  $C_{k_i}$  – стоимость компонента, бел.руб/м<sup>3</sup>;  $P_{k_i}$  – соответственно расход компонента.

В качестве параметров, характеризующих трещиностойкость нанофибробетона использовались [6-9]: прочность на растяжение при раскалывании ( $f_{sp}$ ), коэффициент интенсивности напряжений при нормальном отрыве ( $K_{Ic}$ ), коэффициент интенсивности напряжений при поперечном сдвиге ( $K_{IIc}$ ), интеграл Черепанова-Райса (J-интеграл).

Таким образом, несмотря на увеличение затрат по статье «материалы», фибробетонные составы показали снижение стоимости единицы параметра. Прочность на растяжение: от 1,4 до 42 руб;  $K_{Ic}$  : от 8 до 117 руб;  $K_{IIc}$  : от 0.9 до 60 руб; J-интеграл : от 0,04 до 1,77 руб.

Список литературы

1. Cement-Based Materials Modified with Nanoscale Additives / E. N. Polonina, S. N. Leonovich, B. M. Khroustalev [et al.] // *Science and Technique*. – 2021. – Vol. 20, No. 3. – P. 189-194. – DOI 10.21122/2227-1031-2021-20-3-189-194.

2. Влияние пластифицирующей добавки, содержащей углеродный наноматериал, на свойства самоуплотняющегося бетона / С. А. Жданок, Е. Н. Полонина, С. Н. Леонович [и др.] // *Вестник гражданских инженеров*. – 2018. – № 6(71). – С. 76-85. – DOI 10.23968/1999-5571-2018-15-6-76-85.

3. Садовская, Е. А. Многоуровневая структура бетона: анализ и классификация уровней организации структуры конгломератных строительных композитов / Е. А. Садовская, Е. Н. Полонина, С. Н. Леонович // *Проблемы современного строительства : Материалы Международной научно-технической конференции, Минск, 28 мая 2019 года*. – Минск: Белорусский национальный технический университет, 2019. – С. 285-297.

4. Leonovich, S. N. Nanofiber Concrete: Multi-Level Reinforcement / S. N. Leonovich, E. A. Sadovskaya // *Science and Technique*. – 2022. – Vol. 21, No. 5. – P. 392-396. – DOI 10.21122/2227-1031-2022-21-5-392-396.

5. Садовская, Е. А. Закономерности для прочности фибробетона при испытании на сжатие кубов и цилиндров / Е. А. Садовская, С. Н. Леонович, Н. А. Будревич // *Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета*. – 2021. – № 2(47). – С. 100-106. – DOI 10.24866/2227-6858/2021-2-11.

6. Критический коэффициент интенсивности напряжений при поперечном сдвиге для нанофибробетона / Е. А. Садовская, Е. Н. Полонина, С. Н. Леонович [и др.] // *Строительные материалы*. – 2021. – № 9. – С. 41-47. – DOI 10.31659/0585-430X-2021-795-9-41-46.

7. Коледа, Е. А. Характеристики трещиностойкости фибробетона как определяющий фактор качества / Е. А. Коледа, С. Н. Леонович // *Технология строительства и реконструкции TCR-2015 : Сборник докладов Международной научно-технической конференции, Минск, 24–27 ноября 2015 года*. – Минск: Белорусский национальный технический университет, 2017. – С. 282-287.

8. Вязкость разрушения нанофибробетона при нормальном отрыве и поперечном сдвиге / Е. А. Садовская, Е. Н. Полонина, С. Н. Леонович [и др.] // *Инженерно-физический журнал*. – 2022. – Т. 95, № 4. – С. 961-968.

9. Садовская, Е. А. Расчет коэффициента интенсивности напряжения при нормальном отрыве по прочности на растяжение при изгибе / Е. А. Садовская, С. Н. Леонович // *Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки*. – 2022. – № 8. – С. 27-31. – DOI 10.52928/2070-1683-2022-31-8-27-31.