

ВЕРИФИКАЦИЯ РАСЧЕТНОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОБСТВЕННЫХ ДЕФОРМАЦИЙ НАПРЯГАЮЩЕГО БЕТОНА С ДИСПЕРСНЫМ АРМИРОВАНИЕМ

И. П. Павлова¹, И. В. Белкина²

¹ *К. т. н., доцент, доцент кафедры технологии бетона и строительных материалов УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: pavlinna@tut.by*

² *Магистр технических наук, соискатель кафедры технологии бетона и строительных материалов УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: lutaja-95@mail.ru*

Реферат

Основная часть подходов по определению свойств напрягающих бетонов основана на экспериментальных подборках составов с последующим контролем базовых характеристик.

В данной статье предлагается перейти к аналитическому моделированию как наиболее универсальному инструменту, позволяющему минимизировать эмпирические исследования. Разработанная модифицированная расчетная деформационная модель напрягающего бетона в условиях пространственного ограничения свободных деформаций дисперсными армирующими элементами произвольной жесткости позволяет определять собственные деформации в произвольный временной интервал до момента стабилизации свободного расширения.

Ключевые слова: напрягающий фибробетон, собственные деформации, самонапряжение, объемное ограничение, модифицированная деформационная модель.

VERIFICATION OF THE CALCULATION MODEL FOR DETERMINING THE INTRINSIC DEFORMATIONS OF STRAINING CONCRETE WITH DISPERSED REINFORCEMENT

I. P. Pavlova, I. V. Belkina

Abstract

Most of the approaches for determining the properties of self-stressing concretes are based on experimental selections of mixes followed by control of basic characteristics.

In this paper it's proposed to switch to analytical modelling as the most universal tool allowing to minimize empirical investigations. The modified strains development model (MSDM) of self-stressing concrete under conditions of spatial restriction of free

strains by dispersed reinforcing elements of arbitrary stiffness allows to determine proper deformations in arbitrary time interval up to the moment of free expansion stabilization.

Keywords: fiber reinforced self-stressing concrete, restrained expansion strains, self-stressing, volumetric constraint, modified strains development model.

Введение

Напрягающий бетон – конструкционный материал, способный расширяться во времени, компенсируя усадочные деформации, сопровождающие твердение гидратирующих цементных систем, при этом обладающий высокими показателями прочности, трещиностойкости, водонепроницаемости, а также создающий физико-химическое преднапряжение при использовании его в конструкциях. Область применения такого материала достаточно широка, от жилых и производственных зданий до инженерных сооружений различного назначения. В эксплуатации напрягающий бетон показал себя как высоко надежный материал, способный окупать единовременные затраты при возведении самонапряженных конструкций за счет почти безремонтного срока эксплуатации [1].

Несмотря на то, что чаще всего напрягающий бетон используют в одно и двухосно ограниченных элементах, таких как балки и плиты, наибольший потенциал преднапряжения материал реализует при пространственном ограничении. Поэтому перспективным материалом на сегодняшний день является напрягающий фибробетон. Его особенностью является сочетание высоких прочностных и деформационных свойств дисперсно-армированного бетона и способности к самонапряжению (без стержневого армирования). Расширение такого бетона происходит в условиях обжата дисперсными армирующими волокнами, в результате чего создается предварительное напряжение, которое почти полностью сохраняется и после стабилизации процесса.

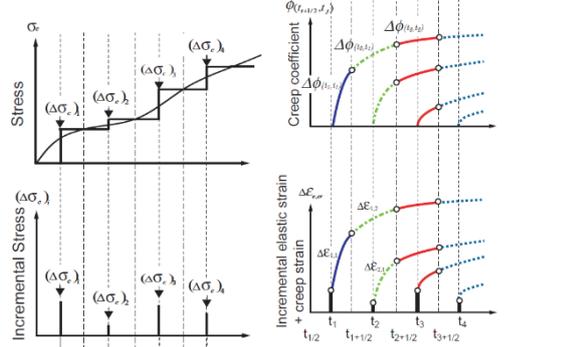
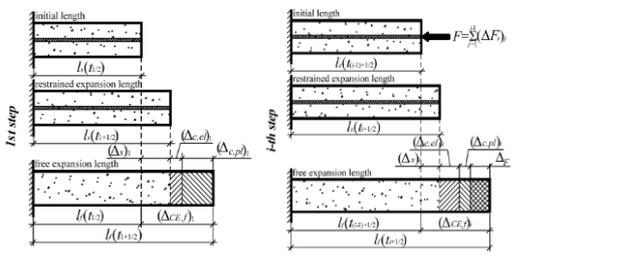
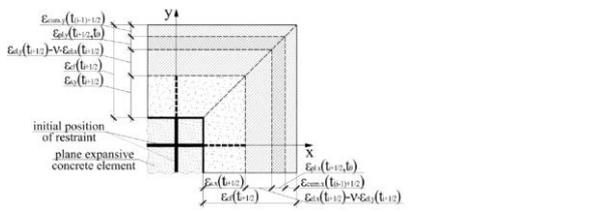
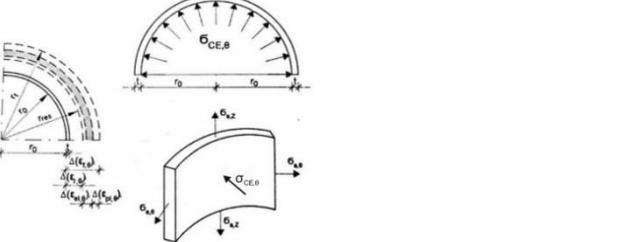
Тем не менее, большая часть подходов к определению свойств напрягающих бетонов строится на экспериментальных подборках составов. Для минимизации возможных эмпирических исследований в качестве направления, позволяющего перейти к прогнозированию свойств, было выбрано аналитическое моделирование.

Модифицированная деформационная модель (MSDM) для различных типов ограничения напрягающего бетона

Известно множество подходов к определению собственных деформаций и напряжений в напрягающем бетоне. В последнее время широкое внимание уделяется моделям, основанным на деформационном подходе.

Рассмотрим существующие варианты деформационной модели и упорядочим их в зависимости от типа ограничивающих элементов (таблица 1).

Таблица 1 – Существующие варианты деформационной модели для различных типов ограничения напрягающего бетона

одноосное ограничение [2]	одноосное ограничение [3]
 <p>Stress vs. time graph showing stepwise loading $(\Delta\sigma_1, \Delta\sigma_2, \Delta\sigma_3)$. Creep coefficient $\phi(t_1, t_2)$ vs. time graph showing stepwise loading. Incremental stress vs. incremental strain + creep strain graph showing stepwise loading.</p>	 <p>Schematic diagrams for uniaxial restraint [3] showing initial length, restrained expansion length, and free expansion length for 1st and 2nd steps.</p>
двухосное ограничение [4]	трехосное ограничение [5]
 <p>Diagram for biaxial restraint [4] showing a concrete element with initial position of restraint and plane expansive concrete element.</p>	 <p>Diagram for triaxial restraint [5] showing a spherical concrete element with internal stresses and strains.</p>

Для оценки собственных деформаций в напрягающем фибробетоне также возможно применение деформационного подхода. Материал может быть представлен в виде шара из расширяющегося бетонного ядра и покрывающей его однородной оболочки постоянной толщины, состоящей из материала фибры, которая не проскальзывает по поверхности при деформациях шара. При этом внутренние усилия, возникающие в расширяющемся бетонном ядре и внутренние усилия, возникающие в ограничивающей его оболочке, взаимно уравновешены. Такой тип армирования соответствует трехосному ограничению (рис. 1) [6].

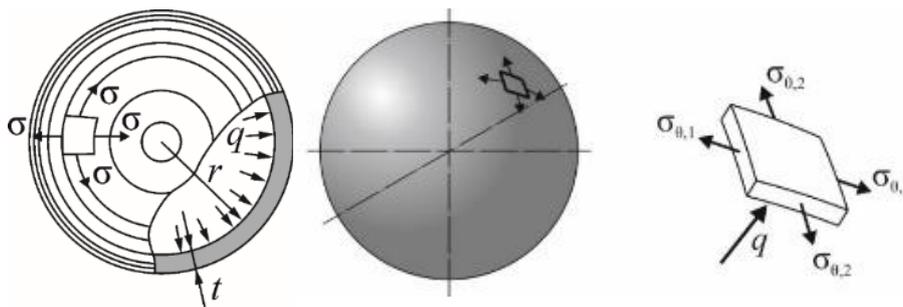


Рисунок 1 – Модифицированная деформационная модель напрягающего фибробетона

Для верификации, разработанной модифицированной расчетной модели для определения собственных напряжений и связанных деформаций были подготовлены 4 серии экспериментов. Варьировался тип и количество расширяющейся добавки. В качестве дисперсного армирования была принята стальная фибра.

Результаты экспериментов

Свободные деформации получены эмпирическим путем. Определение собственных деформаций напрягающего фибробетона выполнялось до момента

стабилизации процессов расширения. В таблице 2 в качестве результатов представлены средние значения по трем образцам серии.

Таблица 2 – Результаты экспериментов на 28-е сутки

№ серии	Свободные деформации ε_f , мм/мм $\times 10^{-5}$	Связанные деформации (модель) ε_r , мм/мм $\times 10^{-5}$	Связанные деформации (эксперимент) ε_x , мм/мм $\times 10^{-5}$
I	92,5	61,6	62,5
II	61,1	43,9	45,8
III	868,3	316,1	310,0
IV	651,7	275,0	258,3

Верификация предлагаемой модели на фоне имеющихся результатов экспериментальных исследований на 28-е сутки показала хорошее совпадение. Однако для оценки ошибки моделирования необходимо использовать большую выборку данных, что возможно при проведении дополнительного исследования.

Заключение

Таким образом, разработанная модифицированная расчетная деформационная модель напрягающего бетона в условиях пространственного ограничения свободных деформаций дисперсными армирующими элементами произвольной жесткости позволяет определять собственные деформации в произвольный временной интервал до момента стабилизации свободного расширения.

Список цитированных источников

1. Тур, В.В. Самонапряженный железобетон – исследования, опыт и перспективы применения / В.В. Тур // Архитектура и строительство – 2005. I международный научно-практический семинар: сборник трудов. – Брест: БрГТУ, 2005. – С. 73–86.
2. Ito H., Maruyama I., Tanimura M., Sato R. Early age deformation and resultant induced stress in expansive high strength concrete // Journal of Advanced Concrete Technology. 2004. № 2. P. 155–174. <https://doi.org/10.3151/jact.2.155>
3. Semianiuk V., Tur V., Herrador M. F. Early age strains and self-stresses of Expansive concrete members under uniaxial restraint conditions // Construction and Building Materials. 2017. Vol. 131. P. 39–49. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.11.008>
4. Sannikava V., Tur V. The modified early age strains development model for the case of two-way restraint conditions // MATEC Web of Conferences. 2021. Vol. 350. <https://doi.org/10.1051/matecconf/202135000010>
5. Tur V. V., Duda R., Khmaruk D., Basav V. Analytical model for restraint strains and self-stressed in expansive concrete filled steel tubes (ecfst) estimation // Вестник Брестского государственного технического университета. Серия: Строительство и архитектура. 2020. № 1. P. 93–98. <https://doi.org/10.36773/1818-1212-2020-119-1-93-98>
6. Pavlova I.P., Belkina I.V. The restrained expansion strains of self-stressed concrete with disperse reinforcement: part 1. Modeling // News of Higher Educational Institutions. Construction. 2022. – (Preprint/ Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering; № 9)

References

1. Tur, V.V. Samonapryazhennyj zhelezobeton – issledovaniya, opyt i perspektivy primeneniya / V.V. Tur // Arhitektura i stroitel'stvo – 2005. I mezhdunarodnyj nauchno-prakticheskij seminar: sbornik trudov. – Brest: BSTU, 2005. – S. 73–86.
2. Ito H., Maruyama I., Tanimura M., Sato R. Early age deformation and resultant induced stress in expansive high strength concrete. Journal of Advanced Concrete Technology. 2004;(2):155–174. <https://doi.org/10.3151/jact.2.155>

3. Semianiuk V., Tur V., Herrador M. F. Early age strains and self-stresses of Expansive concrete members under uniaxial restraint conditions. *Construction and Building Materials*. 2017;(131):39–49. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.11.008>

4. Sannikava V. Tur V. The modified early age strains development model for the case of two-way restraint conditions. *MATEC Web of Conferences*. 2021;(350). <https://doi.org/10.1051/matec-conf/202135000010>

5. Tur V. V., Duda R., Khmaruk D., Basav V. Analytical model for restraint strains and self-stressed in expansive concrete filled steel tubes (ecfst) estimation. *Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura = Vestnik of Brest State Technical University. Civil Engineering and Architecture*. 2020;119(1):93–98. <https://doi.org/10.36773/1818-1212-2020-119-1-93-98>

6. Pavlova I.P, Belkina I.V. The restrained expansion strains of self-stressed concrete with disperse reinforcement: part 1. Modeling // *News of Higher Educational Institutions. Construction*. 2022. – (Preprint/ Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering; № 9)

УДК 72.025.4(476.7)

СВЯТО-НИКОЛАЕВСКИЙ ГАРНИЗОННЫЙ ХРАМ В БРЕСТСКОЙ КРЕПОСТИ КАК ЗНАКОВЫЙ ОБЪЕКТ ИСТОРИКО-КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ БРЕСТЧИНЫ

Э. А. Тур¹, С. В. Басов², В. В. Тричик³, Е. Ю. Русак⁴

¹*К. т. н., доцент, заведующая кафедрой «Инженерной экологии и химии» УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail : tur.elina@mail.ru*

²*К. т. н., доцент, доцент кафедры «Инженерной экологии и химии» УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail : basovs@mail.ru*

³*Студентка гр. Д-23, строительный факультет УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail : ieih@bstu.by*

⁴*Студентка гр. ТГВ-361, факультет инженерных систем и экологии УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail : ieih@bstu.by*

Реферат

В работе представлены результаты исследования физико-химических и технологических особенностей аутентичных штукатурных растворов, определение первоначальных окрасочных составов и методические рекомендации по проведению ремонтно-реставрационных работ на внутренних поверхностях Свято-Николаевского гарнизонного храма Брестской крепости разработанные в рамках комплексных научных исследований.

Ключевые слова: технологические особенности, аутентичные штукатурные растворы, методические рекомендации, реставрация
