

И.П. ПАВЛОВА<sup>1</sup>, И.В. БЕЛКИНА<sup>2</sup><sup>1</sup>УО «Брестский государственный технический университет», г. Брест, Республика Беларусь<sup>2</sup>УО «Гродненский государственный университет имени Янки Купалы», г. Гродно, Республика Беларусь

## ПАРАМЕТРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СОБСТВЕННЫХ ДЕФОРМАЦИЙ И НАПРЯЖЕНИЙ НАПРЯГАЮЩЕГО ФИБРОБЕТОНА НА СТАДИИ РАСШИРЕНИЯ

*Аннотация.* Одним из главных преимуществ напрягающего бетона является его способность компенсировать один из основных недостатков, присущий минеральным вяжущим, – усадочные деформации. При этом подходы к прогнозированию свойств напрягающего бетона не являются универсальными, поскольку базируются в основном на феноменологических подходах и эмпирических зависимостях. Основными подходами к прогнозированию деформаций и напряжений, возникающих в расширяющемся бетоне, являются энергетический и деформационный. Ряд исследователей подтверждает эффективность применения деформационного подхода для определения собственных деформаций и напряжений. Модифицирование модели для определения собственных напряжений и деформаций позволило перейти от случая одноосного стержневого армирования к двух- и трёхосно-ограниченным элементам. На основании положений деформационного подхода была предложена деформационная модель для определения собственных деформаций и напряжений напрягающего фибробетона. Сформулированы основные предпосылки и допущения предлагаемой модели. Приведена блок-схема алгоритма итерационной процедуры, позволяющая выполнить расчет собственных деформаций и напряжений напрягающего фибробетона. Проведены параметрические исследования собственных деформаций и напряжений напрягающего фибробетона на стадии расширения. Представлены нормализованные зависимости связанных деформаций от варьируемых параметров. Установлена область эффективного использования стальной фибры с целью достижения эффекта «связывания» свободного расширения в напрягающем бетоне разной энергоактивности. Определено влияние изменения количества вводимой фибры на развитие связанных деформаций напрягающего бетона в разные временные интервалы. Полученные результаты могут быть использованы в проектных, учебных и научно-исследовательских учреждениях.

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

I.P. PAVLOVA<sup>1</sup>, I.V. BELKINA<sup>2</sup><sup>1</sup>Brest State Technical University, Brest, Republic of Belarus<sup>2</sup>Yanka Kupala State University of Grodno, Grodno, Republic of Belarus

## PARAMETRIC RESEARCH OF RESTRAINED STRAINS AND STRESSES OF SELF-STRESSED FIBER-REINFORCED CONCRETE AT THE STAGE OF EXPANSION

*Abstract.* One of the main advantages of self-stressed concrete is its ability to compensate for one of the main disadvantages inherent in mineral binders – shrinkage strains. However, approaches to predicting the properties of self-stressed concrete are not universal, since they are based mainly on phenomenological approaches and empirical dependencies. The main approaches to predicting strains and stresses arising in expansive concrete are energy- and deformation approaches. A number of researchers confirm the effectiveness of applying the deformation approach to determine intrinsic strains and stresses. Modification of the model for determining its own stresses and strains made it possible to move from the case of uniaxial bar reinforcement to two- and three-axis-limited elements.

*Based on the provisions of the deformation approach, a deformation model was proposed to determine the intrinsic strains and stresses of self-stressed fiber-reinforced concrete. The main prerequisites and assumptions of the proposed model are formulated. A block diagram of the algorithm of the iterative procedure is given, which makes it possible to calculate the intrinsic strains and stresses of self-stressed fiber-reinforced concrete. Parametric studies of self-strains and stresses of self-stressed fiber-reinforced concrete at the stage of expansion were carried out. The normalized dependences of the bounded strains on the varied parameters are presented. The area of effective use of steel fibers to achieve "binding" effect of free expansion in self-stressed concrete of different energy-activity has been determined. Influence of change of introduced fiber amount on development of bound strains of self-stressed concrete at different time intervals has been determined. The obtained results can be used in design, educational and research institutions.*

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

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Михайлов В.В., Литвер С.Л. Расширяющиеся и напрягающиеся цементы и самоупроченные конструкции. М.: Стройиздат, 1974. 389 с.
2. Tsuji Y. Methods of estimating chemical prestress and expansion distribution in expansive concrete subjected to uniaxial restraint *Concrete Library of JSCE*, 1984. № 3. Pp. 131-143.
3. Тур В.В., Семенюк О.С. Модели, применяемые для расчета связанных деформаций и самоупрочений в элементах из напрягающего бетона // *Вестник Брестского государственного технического университета*. Серия: Строительство и архитектура. 2016. № 1. С. 53–69.
4. 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). Pp. 155–174.
5. 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). Pp. 39–49.
6. 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>
7. Chang X., Huang C., Zhang P. Expansive behaviors of self-stressing concrete under different restraining conditions. *Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed.*, 26(4). 2011. Pp. 780–785.
8. Бондаренко В. М. Проектирование самоупроченных сталебетонных элементов // *Вестник Брестского государственного технического университета*. Серия: Строительство и архитектура. 2012. № 1. С. 85–89.
9. Алексеев В.А., Баженов Ю.М., Баженова С.И., Баженова О.Ю., Бисембаев Р.С., Мирончук Н.С. Добавки с самостоятельной гидравлической активностью для набрызгбетона // *БСТ: Бюллетень строительной техники*. 2018. № 8 (1008). С. 61–63.
10. Елсуфьева М.С., Соловьев В.Г., Бурьянов А.Ф. Оценка долгосрочного изменения свойств сталефибробетонов с расширяющими добавками // *Строительные материалы*. 2015. № 7. С. 21-23.
11. He H.A., Wang B.X., Lin J.T. Performance on steel fiber reinforced self-stressing concrete. *Key Engineering Materials*. Trans Tech Publications Ltd. 2009. Vol. 400. Pp. 427-432. doi:10.4028/www.scientific.net/kem.400-402.427.
12. Харченко А.И. [и др.]. Применение расширяющихся цементов для набрызгбетона в тоннельном строительстве // *Вестник МГСУ*. 2019. № 11. С. 1438-1448.
13. Sengul O. Mechanical properties of slurry infiltrated fiber concrete produced with waste steel fibers // *Construction and Building Materials*. 2018. Vol. 186. Pp. 1082–1091. doi:10.1016/j.conbuildmat.2018.08.042
14. Елсуфьева М.С. Применение расширяющихся добавок в сталефибробетоне / М.С. Елсуфьева, В.Г. Соловьев, А.Ф. Бурьянов // *Строительные материалы*. 2014. № 8. С. 60-63.
15. Павлова И.П., Белкина И.В. Собственные деформации напрягающего бетона с дисперсным армированием: часть 1. Моделирование // *Известия вузов. Строительство*. 2022. № 9. С. 5–17.

### REFERENCES

1. Mikhailov V., Litver S. *Rasshiryayushchiesya i naprygayushchiesya cementy i samonapryazhyonnye konstrukcii* [Expansive and self-stressing cements and self-stressed reinforced structures]. Moscow: Stroyizdat, 1974. 389 p. (rus)
2. Tsuji Y. Methods of estimating chemical prestress and expansion distribution in expansive concrete subjected to uniaxial restraint. *Concrete Library of JSCE*, 1984. No. 3. Pp. 131-143.
3. Tur V., Semianiuk V. *Modeli, primenyayemye dlya rascheta svyazannyh deformatsij i samonapryazhenij v elementah iz naprygayushchego betona* [Models for restrained strains and self-stressing stresses in the members made of expansive concrete calculation]. *Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura*. 2016. No. 1. Pp. 53–69. (rus)

4. 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). Pp. 155–174.
5. 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). Pp. 39–49.
6. Sannikava V., Tur V. The modified early age strains development model for the case of two-way restraint conditions. *MATEC Web of Conferences*. 2021. Pp. 350.
7. Chang X., Huang C., Zhang P. Expansive behaviors of self-stressing concrete under different restraining conditions. *Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed.*, 26(4). 2011. Pp. 780–785.
8. Bondarenko V. M. Proektirovanie samonapryazhyonnyh staletrubobetonnyh elementov [Design of self-stressing CFST elements]. *Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura*. 2012. No. 1. Pp. 85–89. (rus)
9. Alekseev V.A., Bazhenov Yu.M., Bazhenova S.I., Bazhenova O.Yu., Bisembaev R.S., Mironchuk N.S. Additive having hydraulic activity forshotcrete. [Additives with independent hydraulic activity for sprinkling]. *BST: Bulletin of Construction Equipment*. 2018; 8(1008):61-63. (rus)
10. Elzufieva M. S., Soloviev V. G., Buryanov A. F. Evaluation of the long-term change in the properties of steel fiber concrete with expanding additives [Ocenka dolgosrochnogo izmeneniya svoystv stalefibrobetonov s rasshiryayushchimi dobavkami]. *Construction Materials*. 2015. No. 7. Pp. 21-23. (rus)
11. He H. A., Wang B. X., Lin J. T. Performance on steel fiber reinforced self-stressing concrete. *Key Engineering Materials. Trans Tech Publications Ltd*. 2009. Vol. 400. Pp. 427-432. doi:10.4028/www.scientific.net/kem.400-402.427.
12. Harchenko A.I. [et al.]. The use of expanding cements for concrete spraying in tunnel construction. [Primenenie rasshiryayushchihsy cementov dlya nabryzgbetona v tonnel'nom stroitel'stve]. *Vestnik MGSU*. 2019. Vol. 14. No. 11 (134). Pp. 1438-1448. (rus)
13. Sengul O. Mechanical properties of slurry infiltrated fiber concrete produced with waste steel fibers. *Construction and Building Materials*. 2018. Vol. 186. Pp. 1082–1091. doi:10.1016/j.conbuildmat.2018.08.042
14. Elzufieva M.S., Soloviev V.G., Buryanov A.F. Primenenie rasshiryayushchihsy dobavok v stalefibrobetone [The use of expanding additives in steel fiber concrete]. *Construction Materials*. 2014. No. 8. Pp. 60-63. (rus)
15. Pavlova I.P., Belkina I.V. Sobstvennye deformacii napryagayushchego betona s dispersnym armirovaniem: chast' 1. Modelirovanie [The restrained expansion strains of self-stressed concrete with disperse reinforcement: part 1. Modeling]. *News of Higher Educational Institutions. Construction*. 2022. No. 9. Pp. 5–17. (rus) doi:10.32683/0536-1052-2022-765-9-5-17

#### Информация об авторах:

##### **Павлова Инесса Павловна**

УО «Брестский государственный технический университет», г. Брест, Республика Беларусь, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологии бетона и строительных материалов.  
E-mail: [pavlinna@tut.by](mailto:pavlinna@tut.by)

##### **Белкина Ирина Владимировна**

УО «Гродненский государственный университет имени Янки Купалы», г. Гродно, Республика Беларусь, магистр технических наук, старший преподаватель кафедры строительного производства.  
E-mail: [lutaja-95@mail.ru](mailto:lutaja-95@mail.ru)

#### Information about authors:

##### **Pavlova Inessa P.**

Brest State Technical University, Brest, Republic of Belarus, PhD in technical sciences, associated professor, associated professor of the department of concrete technology and building materials.  
E-mail: [pavlinna@tut.by](mailto:pavlinna@tut.by)

##### **Belkina Irina V.**

Yanka Kupala State University of Grodno, Grodno, Republic of Belarus, master in technical sciences, senior lecturer of the department of construction production.  
E-mail: [lutaja-95@mail.ru](mailto:lutaja-95@mail.ru)