СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

УДК 691.32 DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-5-59-70

О.С. БОЧКАРЕВА, С.А. ЕРЕНЧИНОВ, Г.А. ЗИМАКОВА, Е.А. КАСПЕР,
Тюменский индустриальный университет

СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ БЕТОНА С ОРТОТРОПНЫМ АРМИРОВАНИЕМ СПИРАЛЕВИДНОЙ ФИБРОЙ

Под ортотропным армированием бетона понимается прием введения в состав бетона спиралевидной фибры.

Для решения задачи обобщения результатов исследования влияния геометрических параметров спиралевидной фибры на физико-механические характеристики бетона плотной структуры применен метод конечно-элементного моделирования.

Математическая модель фиброармированного бетона, основанная на методике проведения численного и экспериментального исследования, показывает, что получение композита с заданными свойствами и структурой обеспечивается при оптимальных параметрах спиралевидной фибры: длина – 20–30 мм, диаметр – 5 мм, расстояние между витками – 1,5 мм.

Ключевые слова: ортотропное армирование; спиралевидная фибра; бетон; математическая модель; метод конечных элементов; механические свойства.

Для цитирования: Бочкарева О.С., Еренчинов С.А., Зимакова Г.А., Каспер Е.А. Структурно-механическая модель бетона с ортотропным армированием спиралевидной фиброй // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2021. Т. 23. № 5. С. 59–70.
DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-5-59-70

O.S. BOCHKAREVA, S.A. ERENCHINOV, G.A. ZIMAKOVA, E.A. KASPER,
Industrial University of Tyumen

STRUCTURAL AND MECHANICAL MODEL OF SPIRAL FIBER-REINFORCED CONCRETE

Orthotropic concrete reinforcement is the addition of spiral fibers to concrete. Finite element modeling is used to study the influence of the spiral fiber geometry on the physical and mechanical properties of concrete. Based on the numerical and experimental research, the proposed mathematical model of fiber-reinforced concrete shows that the composite with the desired properties and structure is obtained with the optimum parameters of the spiral fiber namely 20-30 mm length, 5 mm diameter, and 1.5 mm distance between turns.

© Бочкарева О.С., Еренчинов С.А., Зимакова Г.А., Каспер Е.А., 2021

Keywords: orthotropic reinforcement; spiral fiber; concrete; mathematical model; finite-element method; mechanical properties.

For citation: Bochkareva O.S., Erenchinov S.A., Zimakova G.A., Kasper E.A. Strukturno-Mekhanicheskaya Model" Betona S Ortotropnym Armirovaniem Spiralevidnoi Fibroi [Structural and mechanical model of spiral fiber-reinforced concrete]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2021. V. 23. No. 5. Pp. 59–70.
DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-5-59-70

Введение

Современные бетоны, применяемые для возведения несущих конструкций зданий и сооружений, характеризуются достаточно высокой прочностью на сжатие [1–3], недостаточной прочностью на разрыв, имеют ограниченную пластичность и низкое сопротивление распространению трещин [4]. Для повышения устойчивости к распространению трещин создаются фибро- и дисперсно-армированные бетонные композиты, в которых слабая матрица армирована жесткими волокнами [5], при этом прочность бетона на растяжение увеличивается за счет использования волокон с высоким модулем упругости. По результатам научно-практических данных установлено, что введение синтетических волокон в бетонную смесь не приводит к заметному повышению характеристик, обеспечивающих трещиностойкость бетонного композита, что обусловлено деформативными характеристиками волокон. Незначительное влияние на величину нагрузки, которая приводит к возникновению трещин, оказывают гладкие стальные волокна [6], и поэтому существенного увеличения прочности на растяжение бетоны достигают за счет улучшения конструктивных параметров стальной фибры. Обобщение ряда научных данных по исследованию фибробетонов показало, что они обладают очевидными преимуществами, однако данные композиты имеют сложную полиструктурную организацию, в которой необходимо выделить масштабные уровни исследования для теоретического обобщения и дальнейшего углубления знаний по оптимизации конструктивно-геометрических параметров фиброго армирования [7], их взаимосвязи со структурными характеристиками исходного, как правило, модифицированного добавками химического и минерального типа, бетона.

Численное (компьютерное) моделирование свойств материалов является перспективным научным направлением [8–11]. Компьютерное моделирование бетона позволяет управлять его структурой, прогнозировать выходные характеристики – показатели качества, оценивать зависимость свойств от изменения рецептурно-технических факторов, проводить значительное количество вычислительных экспериментов с широким диапазоном варьируемых параметров при равенстве определенных начальных условий. Систематизация и обобщение теории и практики моделирования фибробетонов путем компьютерно-имитационного моделирования основаны на методиках проведения численного и натурного экспериментов, методах моделирования макроструктуры, обеспечивающих получение материала заданной структуры и свойств.

Среди всего разнообразия методов численного моделирования для решения инженерных задач, сопряженных с исследованием композиционных мате-

риалов, состоящих из нескольких компонентов, обладающих различными свойствами и содержащих элементы сложной геометрии, целесообразно использовать метод конечных элементов [12–15]. Преимущество данного метода заключается в возможности управления масштабным фактором сетки при разбиении области на конечные элементы.

В настоящей работе компьютерный анализ методом конечных элементов был произведен в среде ANSYS Workbench, широко применяемой для решения инженерных задач. Так, в работах [16, 17] посредством ANSYS проведен ряд численных экспериментов по исследованию зависимости упругих свойств композиционных материалов от процентного содержания армирующих волокон и характера их укладки.

При разбиении расчетной области на конечные элементы следует, с одной стороны, обеспечить их размеры достаточно малыми, чтобы получить достоверные результаты, и, с другой стороны, принять во внимание, что применение более крупных элементов сокращает ресурсоемкость вычислений. Для обеспечения этих двух условий был использован модуль ANSYS Material Designer. Данный модуль позволяет создавать для исследуемого материала представительный объемный элемент (representative volume element (RVE)) определенного типа, для которого выбираются свойства составляющих его компонентов. В результате расчетов получают механические характеристики элементарной ячейки структуры материала, которые позволяют оптимизировать необходимые параметры отдельных компонентов и в дальнейшем использовать полученные приведенные характеристики для моделирования макроструктуры.

Проведение численного эксперимента

Объектом исследования являлся композит, включающий матрицу из мелкозернистого бетона и спиралевидную фибру. Цель исследования заключалась в определении оптимальных геометрических параметров спиралевидной фибры, позволяющих достичь повышенных упруго-деформативных характеристик бетона плотной структуры с помощью модуля ANSYS Material Designer.

Для построения представительной элементарной ячейки была выбрана задаваемая пользователем структура (User Defined RVE). Трехмерная геометрическая модель элементарной ячейки, представляющая собой призму с заключенной в ней спиралевидной фиброй, была импортирована в Material Designer из AutoCAD. Далее были назначены материалы матрицы и спиралевидной фибры через сервис Engineering Data. В общей библиотеке материалов General Materials в качестве материала матрицы был назначен бетон, для спиралевидной фибры – сталь. Показатели качества исходных материалов представлены на рис. 1.

На следующем этапе численного эксперимента было произведено построение сетки представительного объемного элемента бетона с ортотропным армированием, визуализация которой представлена на рис. 2.

С помощью модуля ANSYS Material Designer произведен расчет деформативных характеристик материала, таких как модуль упругости, коэффициент Пуассона, и других параметров в осях *X, Y* и *Z*. За контролируемый показатель качества и параметр оптимизации исследуемого материала был принят модуль упругости.

а

	A	B	C
1	Property	Value	Unit
2	Material Field Variables	Table	
3	Density	2300	kg m^-3
4	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion		
6	Isotropic Elasticity		
7	Derive from	Young's ...	
8	Young's Modulus	30000	MPa
9	Poisson's Ratio	0,18	
10	Bulk Modulus	1,5625E+10	Pa
11	Shear Modulus	1,2712E+10	Pa
12	Tensile Yield Strength	0	MPa
13	Compressive Yield Strength	0	MPa
14	Tensile Ultimate Strength	5	MPa
15	Compressive Ultimate Strength	41	MPa
16	Isotropic Thermal Conductivity	0,72	W m^-1...
17	Specific Heat, C_p	780	J kg^-1 ...

б

	A	B	C
1	Property	Value	Unit
2	Material Field Variables	Table	
3	Density	7850	kg m^-3
4	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion		
6	Isotropic Elasticity		
7	Derive from	Young's ...	
8	Young's Modulus	2E+05	MPa
9	Poisson's Ratio	0,3	
10	Bulk Modulus	1,6667E+11	Pa
11	Shear Modulus	7,6923E+10	Pa
12	Strain-Life Parameters		
20	S-N Curve	Tabular	
24	Tensile Yield Strength	250	MPa
25	Compressive Yield Strength	250	MPa
26	Tensile Ultimate Strength	460	MPa
27	Compressive Ultimate Strength	0	MPa
28	Isotropic Thermal Conductivity	60,5	W m^-1...
29	Specific Heat, C_p	434	J kg^-1 ...
30	Isotropic Relative Permeability	10000	
31	Isotropic Resistivity	1,7E-07	ohm m

Рис. 1. Характеристики исходных материалов:
а – материал матрицы – бетон; *б* – материал спиралевидной фибры – сталь

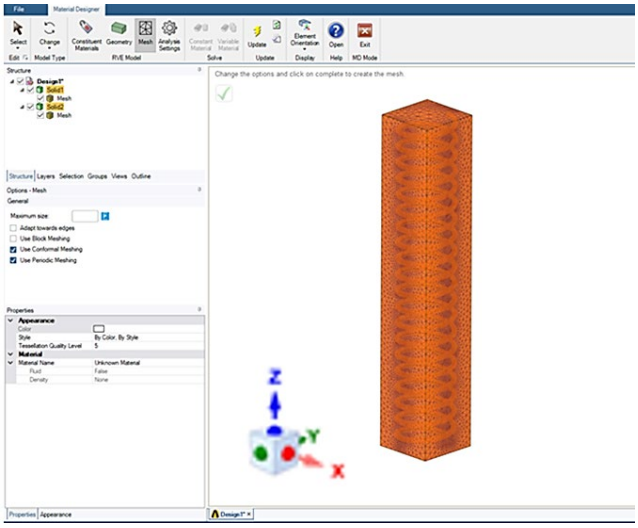


Рис. 2. Построенная сетка представительного объемного элемента бетона с ортотропным армированием

Для подтверждения достоверности полученных данных в модуле Static Structural расчетной платформы конечно-элементного анализа ANSYS Workbench был проведен сравнительный анализ деформаций, возникающих от действия единичной нагрузки, на трех моделях образцов-призм: контрольном, обладающем свойствами материала матрицы, а также двух моделях бетона – с импортированной геометрией, представляющей собой бетонную призму, армированную спиралевидной фиброй, с присвоением свойств соответствующих материалов, а также призмой с назначенными приведенными характеристиками бетона с ортотропным армированием, заимствованными из модуля ANSYS Material Designer. Модели образцов-призм представлены на рис. 3.

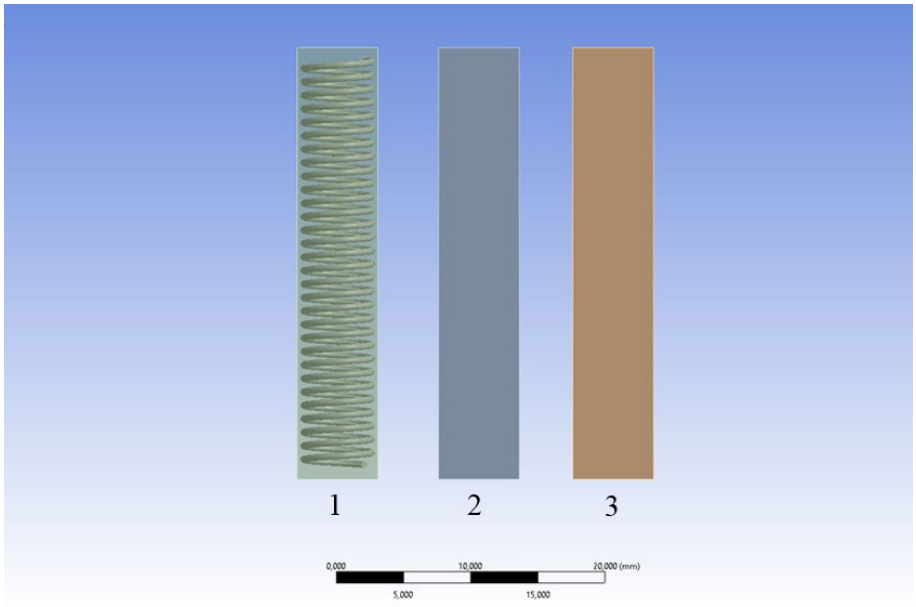


Рис. 3. Модели исследуемых на деформации образцов-призм:
1 – бетон с построенной геометрией, содержащей бетонную матрицу и спиралевидную фибру; *2* – материал с приведенными характеристиками бетона с ортотропным армированием из ANSYS Material Designer; *3* – контрольный состав со свойствами материала матрицы (бетон)

Результаты исследования

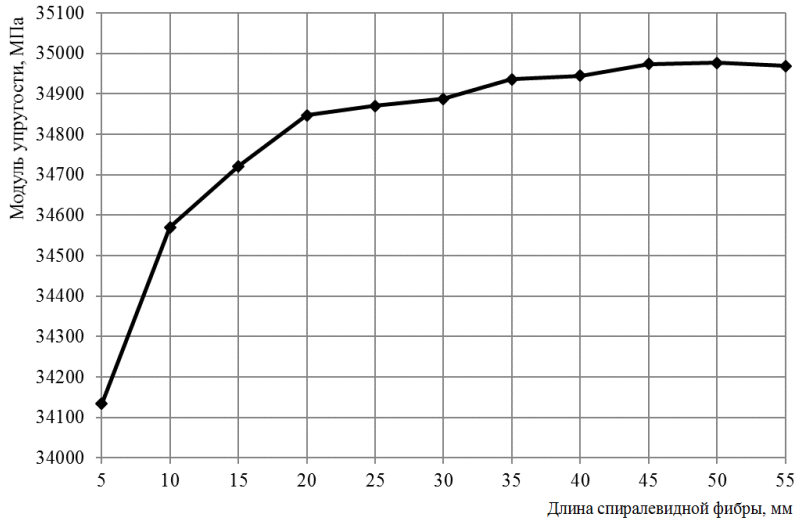
Определение оптимальной длины спиралевидной фибры с помощью модуля ANSYS Material Designer было произведено посредством расчета представительных объемных элементов с варьируемым параметром длины спиралевидной фибры в диапазоне от 5 до 55 мм с шагом 5 мм при постоянстве диаметра стальной проволоки, равного 0,5 мм, диаметра витков – 5 мм, расстояния между витками – 1,5 мм. Графическая интерпретация зависимости величины модуля упругости бетона от длины спиралевидной фибры в осях *X, Y* и *Z* представлена на рис. 4.

Согласно полученным результатам было выявлено, что увеличение длины спиралевидной фибры более 30 мм является нецелесообразным, т. к. не приводит к значительному повышению величины модуля упругости.

На следующем этапе было выявлено влияние диаметра спиралевидной фибры при варьировании данного параметра в диапазоне от 3 до 7 мм с шагом в 1 мм на значение модуля упругости бетона со спиралевидной фиброй при постоянстве диаметра стальной проволоки, равного 0,5 мм, длины фибры – 30 мм и расстояния между витками – 1,5 мм. Полученные результаты представлены в виде графической зависимости на рис. 5. Результаты численного эксперимента позволили диагностировать, что увеличение диаметра спиралевидной фибры приводит к снижению величины модуля упругости. За оптимальную величину диаметра спиралевидной фибры было принято 5 мм, что обусловлено

размером зерен мелкого заполнителя, входящего в состав матрицы мелкозернистого бетона, заключенного внутри спиралевидной фибры.

а



б

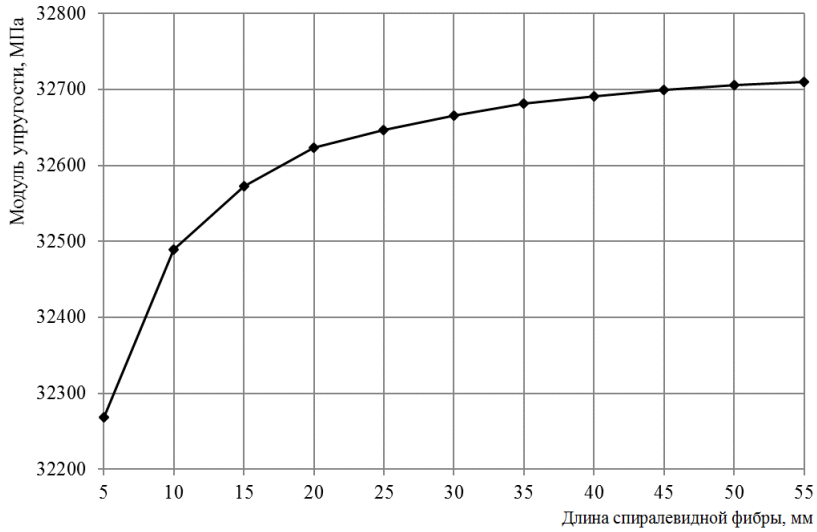


Рис. 4. Зависимость величины модуля упругости бетона от длины спиралевидной фибры: *а* – в осях *X, Y* ; *б* – по оси *Z*

Было изучено влияние расстояния между витками спиралевидной фибры варьированием данного фактора в диапазоне от 1 до 3 мм с шагом 0,5 мм на значение модуля упругости бетона со спиралевидной фиброй при постоянстве диаметра стальной проволоки, равного 0,5 мм, длины спиралевидной фибры – 30 мм и диаметра – 5 мм. Результаты представлены на рис. 6. Полученные зависимости свидетельствуют о снижении величины модуля упругости с увели-

чением расстояния между витками пружины. Оптимальной для данного фактора была принята величина 1,5 мм, обеспечивающая заполнение пространства между витками растворной частью матрицы, содержащей мелкий заполнитель крупностью зерен до 1,5 мм.

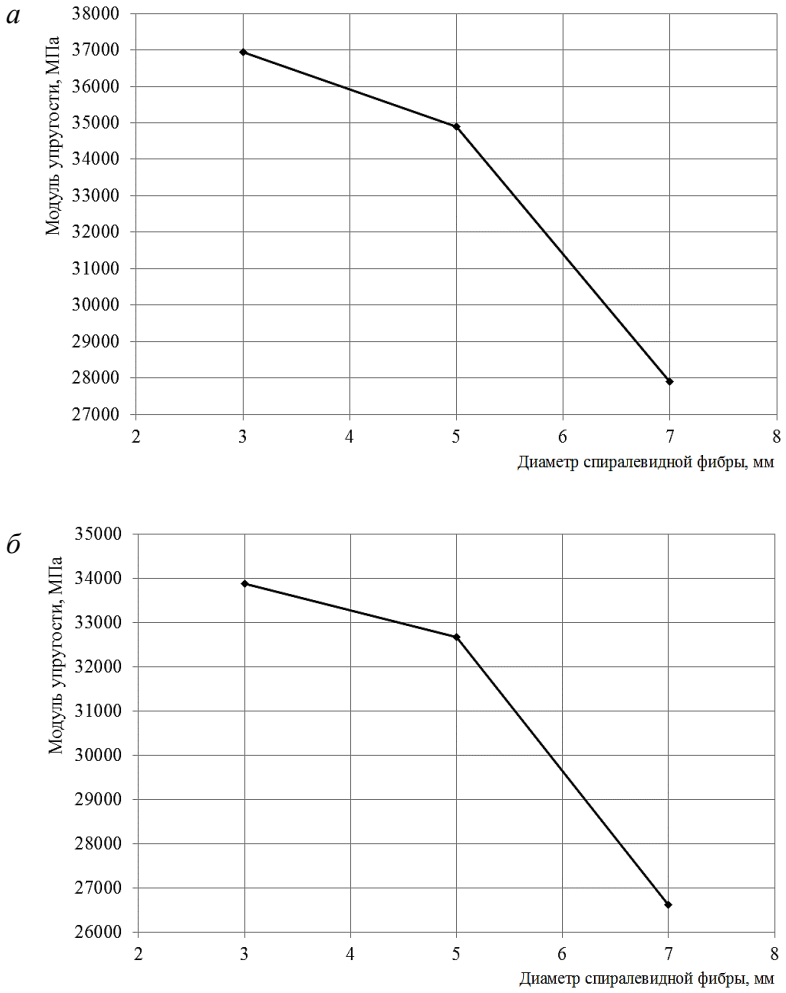


Рис. 5. Зависимость величины модуля упругости бетона от диаметра спиралевидной фибры:
а – в осях *X, Y; б* – по оси *Z*

Оптимизация параметров спиралевидной фибры обеспечивает прирост модуля упругости вдоль ее длины на 9 %, поперек – на 16 % по сравнению с аналогичным параметром материала матрицы.

Для оценки адекватности полученных приведенных характеристик с помощью расчетного модуля ANSYS Static Structural были изучены деформации от действия единичной нагрузки трех моделей образцов-призм в соответствии с рис. 3. Результаты численного эксперимента представлены на рис. 7.

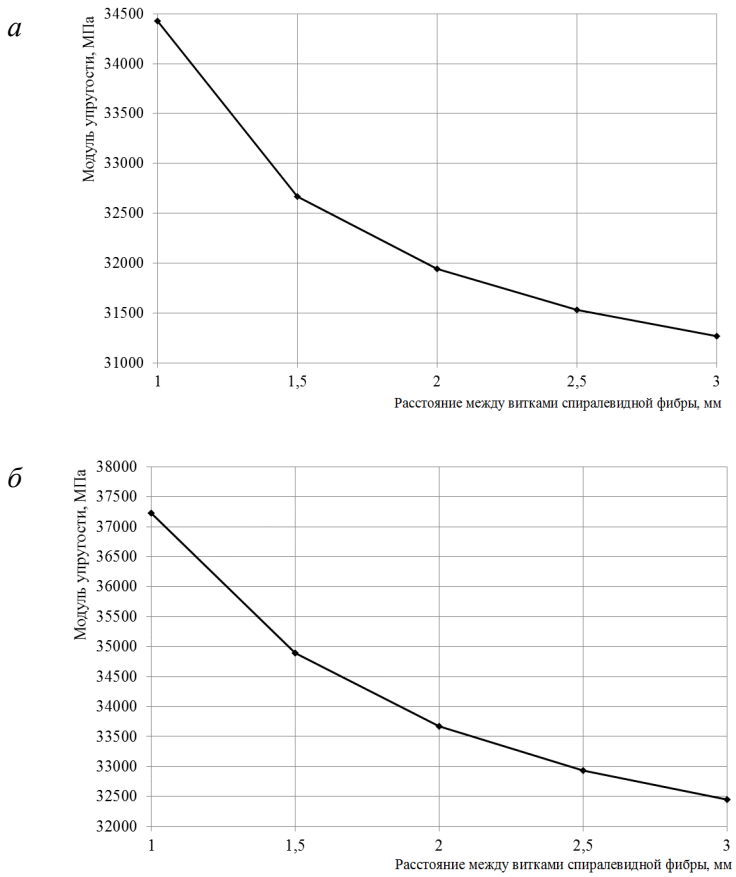


Рис. 6. Зависимость величины модуля упругости бетона от расстояния между витками спиралевидной фибры:
а – в осях *X, Y*; *б* – по оси *Z*

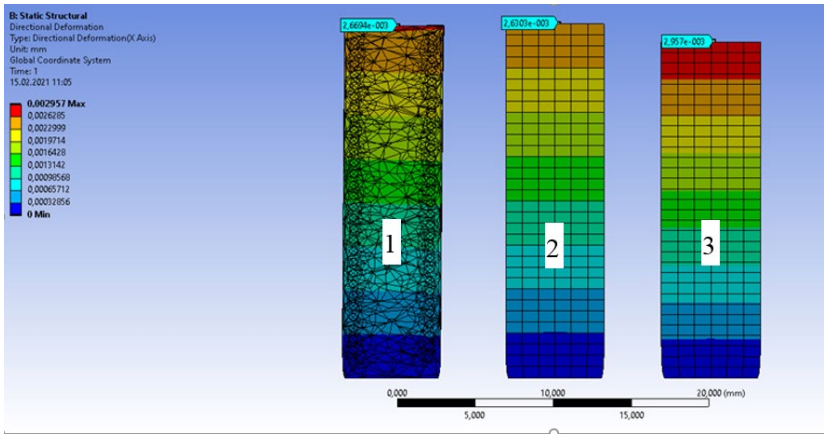


Рис. 7. Деформации моделей образцов-призм, рассчитанные с помощью ANSYS Static Structural (нумерация моделей образцов-призм соответствует рис. 3)

В результате компьютерного моделирования в пакете конечно-элементного анализа ANSYS Workbench проведен анализ и установлено, что близкие по величине значения деформаций для модели образца с импортированной геометрией и с приведенными характеристиками бетона со спиралевидной фиброй позволяют констатировать достоверность результатов. Деформация контрольного образца матричного бетона на 11 % превышает деформации композита со спиралевидной фиброй, что теоретически подтверждает эффективность применения бетона со спиралевидной фиброй.

Заключение

Описание сложно структурированного бетонного композита, связанное с представлением распределения в объеме, взаимной ориентации, а также совместной работы матричного бетона со спиралевидной фиброй, возможно за счет применения численных методов структурно-имитационного моделирования.

Использование метода конечных элементов позволяет обеспечить геометрическую и физическую реалистичность модели, отражающей назначение оптимальных геометрических параметров фибры в форме спиралевидного элемента, главные достоинства которого заключаются в повышении упруго-деформативных параметров бетона.

Эффективность работы обусловлена ортотропным воздействием данной фибры предлагаемой геометрии не только вследствие сцепления (сопротивления в осевом для фибры направлении), но и благодаря сопротивлению в поперечном направлении. По результатам произведенной серии численных экспериментов с помощью модуля ANSYS Material Designer были определены оптимальные параметры спиралевидной фибры в составе бетона. При сравнении величины модуля упругости исследуемого композиционного материала оптимальная длина спиралевидной фибры составила 20–30 мм, диаметр – 5 мм, расстояние между витками – 1,5 мм. Адекватность полученных результатов подтверждается соизмеримыми величинами деформаций от действия единичной нагрузки, определенными с помощью модуля ANSYS Static Structural, на моделях образцов-призм с импортированной геометрией двухкомпонентной системы и с приведенными характеристиками из ANSYS Material Designer.

Библиографический список

1. *Калашников В.И.* Эволюция развития составов и изменение прочности бетонов. Бетоны настоящего и будущего. Часть 1. Изменение составов и прочности бетонов // Строительные материалы. 2016. № 1–2. С. 96–103.
2. *Калашников В.И., Тараканов О.В., Кузнецов Ю.С., Володин В.М., Белякова Е.А.* Бетоны нового поколения на основе сухих тонкозернисто-порошковых смесей // Materials Magazine of Civil Engineering. 2012. № 8. С. 47–53.
3. *Gu C., Ye G., Sun W.* Ultrahigh performance concrete-properties, applications and perspectives // Science China Technological Sciences. 2015. V. 58. I. 4. P. 587–599.
4. *Сташевская Н.А., Окольникова Г.Э., Асиков Д.М.* Обзор и анализ исследований применения высокопрочного фибробетона для высотного строительства // Системные технологии. 2017. № 23. С. 51–55.

5. *Bruhwiler E., Denarie E.* Rehabilitation of concrete structures using ultra-high performance fiber reinforced concrete // Proceedings of Second International Symposium on Ultra-High Performance Fiber-Reinforced Concrete. Kassel. 2008. P. 895–902.
6. *Окольникова Г.Э., Белов А.П., Слинькова Е.В.* Анализ свойств различных видов фибробетонов // Системные технологии. 2018. № 26. С. 206–210.
7. *Денисов А.В., Рогачев К.В., Иваненко С.В.* Результаты проверки модели структуры фибробетона, разработанной для аналитического определения его термических и радиационных изменений, по экспериментальным данным усадки при твердении // Науковедение : интернет-журнал. 2016. Т. 8. № 4. URL: http://naukovedenie.ru/PDF/43TVN416.pdf (доступ свободный).
8. *Jin L., Du X.-L.* Meso numerical simulation of reinforced concrete members // Shuili Xuebao. 2012. V. 43. № 10. P. 1230–1242.
9. *Shimanovsky A., Kuziomkina H., Pleskachevskii Yu., Yakubovich V.* Finite element modeling of the cement matrix and filler grains interaction // Technolog. 2013. V. 5. № 4. P. 171–174.
10. *Lippmann N., Steinkopff Th., Schmauder S., Gumbsch P.* 3D-Finite-Element-modelling of microstructures with the method of multiphase elements // Computational Materials Science. 1997. V. 9. № 1–2. P. 28–35.
11. *Wulf J., Schmauder S., Fischmeister H.F.* Finite element modelling of crack propagation in ductile fracture // Computational Materials Science. 1993. V. 1. № 3. P. 297–301.
12. *Князева Е.Н., Кукареко В.А., Александров В.Ю., Тимошенко Н.П.* Применение метода конечных элементов при исследовании композиционных материалов. Подходы, методики, программные средства // Механика машин, механизмов и материалов. 2013. № 3 (24). С. 69–76.
13. *Mohammadi Shah M., Komeili M., Phillion A.B., Milani A.S.* Toward better understanding of the effect of fiber distribution on effective elastic properties of unidirectional composite yarns // Computers and Structures. 2016. № 163. P. 29–40.
14. *Kurkin E.I., Sadykova V.O.* Application of short fiber reinforced composite materials multilevel model for design of ultra-light aerospace structures // Procedia Engineering. 2017. № 185. P. 182–189.
15. *Плескачевский Ю.М., Шимановский А.О.* Компьютерное моделирование структуры и свойств композитов в нагруженных конструкциях // Механика машин, механизмов и материалов. 2016. № 1 (34). С. 41–51.
16. *Соловьев А.Н., Зиборов Е.Н., Шевцов С.Н.* Определение упругих свойств армированных композиционных материалов на основе конечно-элементного моделирования // Наука Юга России. 2016. Т. 12. № 2. С. 3–10.
17. *Mishnev M.V., Korolev A.S., Zadorin A.A., Khoroshilov N.A.* Based on the hybrid hot-curing epoxy binder fiberglass and evaluation of its effectiveness in load-bearing chimneys // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2020. № 8 (93). С. 9302.

References

1. *Kalashnikov V.I.* Evolyutsiya razvitiya sostavov i izmenenie prochnosti betonov. Betony nastoyashchego i budushchego. Chast' 1. Izmenenie sostavov i prochnosti betonov [Concrete compositions and concrete strength. Concretes of the present and future. Part 1. Concrete composition and strength]. *Stroitel'nye materialy*. 2016. No. 1–2. Pp. 96–103. (rus)
2. *Kalashnikov V.I., Tarakanov O.V., Kuznetsov Yu.S., Volodin V.M., Belyakova E.A.* Betony novogo pokoleniya na osnove sukhikh tonkozernisto-poroshkovykh smesei [Next generation concretes based on fine-grain dry powder mixes]. *Materials Magazine of Civil Engineering*. 2012. No. 8. Pp. 47–53. (rus)
3. *Gu C., Ye G., Sun W.* Ultrahigh performance concrete-properties, applications and perspectives. *Science China Technological Sciences*. 2015. V. 58. No. 4. Pp. 587–599.
4. *Stashevskaya N.A., Okol'nikova G.E., Asikov D.M.* Obzor i analiz issledovanii primeneniya vysokoprochnogo fibrobetona dlya vysotnogo stroitel'stva. [Review and analysis of investigations of high-strength fibrous concrete applications for high-ise construction]. *Sistemnye tekhnologii*. 2017. No 23. Pp. 51–55. (rus)

5. *Bruhwiler E., Denarie E.* Rehabilitation of concrete structures using ultra-high performance fiber reinforced concrete. In: *Proc. 2nd Int. Symposium on Ultra-High Performance of Fiber-Reinforced Concrete*. Kassel. 2008. Pp. 895–902.
6. *Okol'nikova G.E., Belov A.P., Slin'kova E.V.* Analiz svoistv razlichnykh vidov fibrobetonov [The properties of various types of fiber-reinforced concrete]. *Sistemnye tekhnologii*. 2018. No. 26. Pp. 206–210. (rus)
7. *Denisov A.V., Rogachev K.V., Ivanenko S.V.* Rezul'taty proverki modeli struktury fibrobetona, razrabotannoi dlya analiticheskogo opredeleniya ego termicheskikh i radiatsionnykh izmenenii, po eksperimental'nym dannym usadki pri tverdenii [The model of fiber-reinforced concrete structure for analytical determination of its thermal and radiation changes from the experimental data on shrinkage during curing]. *Naukovedenie*. 2016. V. 8. No 4. Available: http://naukovedenie.ru/PDF/43TVN416.pdf. (rus)
8. *Jin L., Du X.-L.* Meso numerical simulation of reinforced concrete members. *Shuili Xuebao*. 2012. V. 43. No. 10. Pp. 1230–1242.
9. *Shimanovsky A., Kuziomkina H., Pleskachevskii Yu., Yakubovich V.* Finite element modeling of the cement matrix and filler grains interaction. *Technology*. 2013. V. 5. No. 4. Pp. 171–174.
10. *Lippmann N., Steinkopff Th., Schmauder S., Gumbsch P.* 3D-finite-element-modelling of microstructures with the method of multiphase elements. *Computational Materials Science*. 1997. V. 9. No. 1–2. Pp. 28–35.
11. *Wulf J., Schmauder S., Fischmeister H.F.* Finite element modelling of crack propagation in ductile fracture. *Computational Materials Science*. 1993. V. 1. No. 3. Pp. 297–301.
12. *Knyazeva E.N., Kukareko V.A., Aleksandrov V.Yu., Timoshenko N.P.* Primenenie metoda konechnykh elementov pri issledovanii kompozitsionnykh materialov. Podkhody, metodiki, programmnye sredstva [Finite element method for investigation of composite materials. Approaches, methods, computer programs]. *Mekhanika mashin, mekhanizmov i materialov*. 2013. No. 3(24). Pp. 69–76. (rus)
13. *Mohammadi Shah M., Komeili M., Phillion A.B., Milani A.S.* Toward better understanding of the effect of fiber distribution on effective elastic properties of unidirectional composite yarns. *Computers and Structures*. 2016. V.163. Pp. 29–40.
14. *Kurkin E.I., Sadykova V.O.* Application of short fiber reinforced composite materials multilevel model for design of ultra-light aerospace structures. *Procedia Engineering*. 2017. V. 185. Pp. 182–189.
15. *Pleskachevskii Yu.M., Shimanovskii A.O.* Komp'yuternoe modelirovanie struktury i svoistv kompozitov v nagruzhennykh konstruktsiyakh [Computer modeling of structure and properties of composites in loaded structures]. *Mekhanika mashin, mekhanizmov i materialov*. 2016. No. 1 (34). Pp. 41–51. (rus)
16. *Solov'ev A.N., Ziborov E.N., Shevtsov S.N.* Opredelenie uprugikh svoistv armirovannykh kompozitsionnykh materialov na osnove konechno-elementnogo modelirovaniya [Finite element modeling of elastic properties of reinforced composite materials]. *Nauka Yuga Rossii*. 2016. V. 12. No. 2. Pp. 3–10. (rus)
17. *Mishnev M.V., Korolev A.S., Zadorin A.A., Khoroshilov N.A.* Hybrid hot-curing epoxy binder fiberglass and evaluation of its effectiveness in load-bearing chimneys. *Stroitel'stvo unikal'nykh zdanii i sooruzhenii*. 2020. No. 8 (93). 9302.

Сведения об авторах

Бочкарева Ольга Станиславовна, специалист, Тюменский индустриальный университет, 625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38, olga_bos09@mail.ru

Еренчинов Сергей Александрович, канд. техн. наук, доцент, Тюменский индустриальный университет, 625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38, erenchinov@yandex.ru

Зимакова Галина Александровна, канд. техн. наук, доцент, Тюменский индустриальный университет, 625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38, zimakovaga@tyuiu.ru

Каспер Елена Александровна, ст. преподаватель, Тюменский индустриальный университет, 625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38, elena-kasper@mail.ru

Authors Details

Olga S. Bochkareva, Specialist, Industrial University of Tyumen, 38, Volodarskii Str., 625000, Tyumen, Russia, olga_bos09@mail.ru

Sergey A. Erenchinov, PhD, A/Professor, Industrial University of Tyumen, 38, Volodarskii Str., 625000, Tyumen, Russia, erenchinov@yandex.ru

Galina A. Zimakova, PhD, A/Professor, Industrial University of Tyumen, 38, Volodarskii Str., 625000, Tyumen, Russia, zimakovaga@tyuiu.ru

Elena A. Kasper, Senior Lecturer, Industrial University of Tyumen, 38, Volodarskii Str., 625000, Tyumen, Russia, elena-kasper@mail.ru