

ВЛИЯНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ КОНСТАНТ ЗАПОЛНИТЕЛЯ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОМПОЗИТОВ

*А. О. ШИМАНОВСКИЙ, О. И. ЯКУБОВИЧ, А. Ю. ШУБЕРТ
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

При создании новых зданий и сооружений широко используют композиты, одним из наиболее ярких представителей которых является бетон. Современные программные средства, предназначенные для моделирования напряженно-деформированного состояния конструкций, позволяют оценивать влияние и геометрию армирующей фазы на прочность композита в целом. При анализе прочности строительных композитов для изучения распределения напряжений и деформаций удобно использовать модели, представляющие периодически повторяющиеся ячейки. Такой подход позволяет с помощью относительно несложных вычислительных экспериментов исследовать достаточно сложные эффекты: влияние взаимного расположения фаз на механические свойства композита; установить механизмы повреждения; изучить начальные стадии образования пустот и роста трещин. Поэтому моделирование поведения конструкций из композитных материалов с учетом их структуры позволяет оптимизировать их прочность и долговечность.

В результате исследований структуры и состава контактных зон между заполнителем и цементным камнем было установлено, что на поверхности заполнителя образуется многослойная система из продуктов гидратации цемента, составляющая контактный слой толщиной 0,5–3 мкм [1]. Ранее в Белорусском государственном университете транспорта был выполнен ряд расчетов напряженно-деформированного состояния элементов конструкций из таких композитов с помощью программного комплекса ANSYS [2, 3]. Предложена модель бетона, в которой заполнитель размещен внутри цементной матрицы, причем связь между ними допускала относительное перемещение элементов. Выполненный в ходе исследований анализ показал, что наиболее неблагоприятный случай с точки зрения прочности рассматриваемого материала имеет место, если зерна заполнителя лежат вдоль линии действия внешней нагрузки. Такая схема положена в основу модели, позволяющей численно исследовать деформирование бетона с учетом неоднородности материала. Целью представленной работы стал анализ влияния физических параметров заполнителя и свойств контактной пары на напряженно-деформированное состояние бетонного массива.

Рассмотрена плоская модель рассматриваемой системы, соответствующая случаю, при котором армирующая фаза имеет цилиндрическую форму, а оси цилиндров располагаются в плоскостях, параллельных плоскости приложения нагрузки. Изучался плоский элемент структуры материала размерами 100×100 мм, включающий матрицу, внутри которой располагались заполнители, имеющие разные параметры. Физические характеристики матрицы были приняты следующими: коэффициент Пуассона равен 0,3, модуль упругости – 26 ГПа. Для включений рассматривались случаи изменения диаметров от 5 до 45 мм, модуль упругости варьировался от 15 до 26 ГПа, коэффициент Пуассона от 0,15 до 0,3.

В результате проведенных расчетов получена информация о характере распределения напряжений, возникающих в неоднородном материале. Также установлены зависимости эквивалентных напряжений от модуля упругости материала упрочняющей фазы композита и ее коэффициента Пуассона. Изменение модуля упругости предсказуемо приводило к изменениям напряженно-деформируемого состояния материала. Традиционно считается, что влиянием коэффициента Пуассона на прочность и жесткость материала можно пренебречь. Однако выполненные расчеты показали, что при увеличении коэффициента Пуассона от 0,15 до 0,3 максимальные эквивалентные напряжения в материале уменьшаются на 8 % (рисунок 1, а). При этом максимальные смещения точек элемента уменьшаются на 4 % (рисунок 1, б).

Таким образом, полученные результаты показывают, что обеспечить лучшие механические характеристики бетонных оснований транспортных сооружений можно, используя армирующие материалы, коэффициент Пуассона которых незначительно отличается от коэффициента Пуассона матрицы.

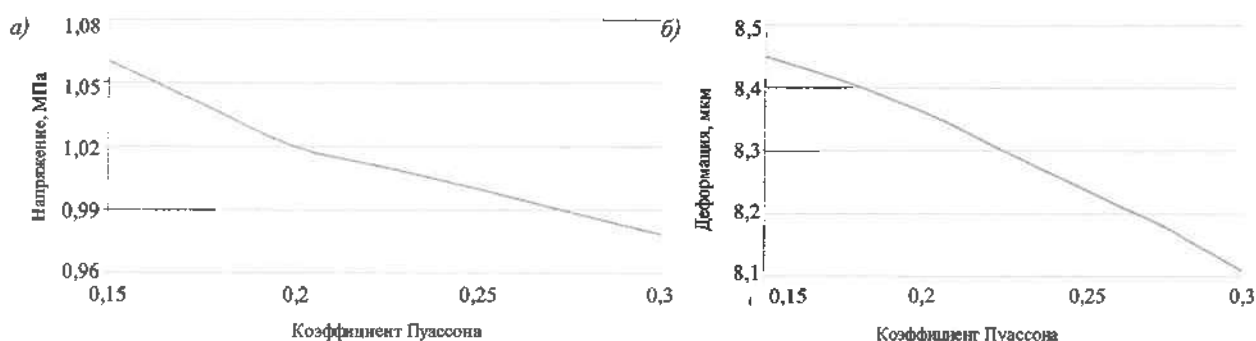


Рисунок 1 – Зависимость максимальных эквивалентных напряжений (а) и деформаций (б) от коэффициента Пуассона материала армирующей фазы композита

Также рассмотрено деформирование куба с зернами заполнителя шарообразной и кубической формы. Результаты расчета эквивалентных по Мизесу напряжений в материале с шаровидным заполнителем показали, что наибольшие напряжения в цементной матрице возникают в месте наибольшего сближения гранул. Например, при давлении на поверхности куба 30 МПа наибольшие напряжения в материале превышают 43 МПа. В то же время максимальные напряжения в гранулах оказываются в их центре. Значения максимальных напряжений в матрице и гранулах отличаются незначительно. Контактные напряжения неравномерно распределены по поверхности соприкосновения: они минимальны на «экваторе» зерна и максимальны в его верхней части.

Расчеты, выполненные для разных значений адгезии между цементной матрицей и заполнителем, показали, что картина распределения напряжений существенно не изменяется. При достаточно больших значениях адгезии композитный материал работает как единое целое вне зависимости от величины коэффициента трения между его фазами. Однако установлено, что при небольших значениях коэффициента трения существует некоторое предельное минимальное значение адгезии, обеспечивающее прочность материала, которое зависит от формы армирующих гранул. Если адгезия меньше названного предельного значения, то после приложения нагрузки происходит относительное смещение поверхностей гранулы и матрицы. Наличие такого смещения свидетельствует о расслоении материала и, таким образом, позволяет сделать вывод о недостаточной его прочности при действии заданных сжимающих давлений.

Таким образом, результаты численного моделирования, учитывающего физические константы заполнителя и матрицы, а также параметры, определяющие контактное взаимодействие между матрицей и армирующей фазой, позволило оценить напряженно-деформированное состояние композитного материала с учетом его неоднородности. Представленный подход может быть использован для выработки рекомендаций по подбору крупного и мелкого заполнителя, а также связующего, обеспечивающих необходимую и достаточную прочность строительных композитов и изготовленных из них элементов конструкций.

Список литературы

- 1 Barnes, B. D. The Contact Zone between Portland Cement Paste and Glass "Aggregate" Surfaces / B. D. Barnes, S. Diamond, W. L. Dolch // *Cement and Concrete Research*. – 1978. – Vol. 8. – № 2. – P. 233–243.
- 2 Компьютерное моделирование взаимодействия матрицы композита с зернами заполнителя / А. О. Шимановский [и др.] // *Актуальные вопросы машиноведения*. – 2012. – Вып. 1. – С. 421–423.
- 3 Якубович, О. И. Влияние формы армирующих гранул на напряженно-деформированное состояние композита / О. И. Якубович // *Механика. Исследования и инновации*. – 2018. – Вып. 11. – С. 274–280.

УДК 725.573

РЕКОНСТРУКЦИЯ СУЩЕСТВУЮЩЕГО ФОНДА ДОШКОЛЬНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ ОБРАЗОВАНИЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПЕРИОДА ПРОЕКТИРОВАНИЯ И СТРОИТЕЛЬСТВА

А. В. ЦЕГЛОВА

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

На разных этапах проектирования и строительства на территории Республики Беларусь преобладали определенные типовые проекты дошкольных учреждений образования (ДУО). На примене-