

Таблица 1 – Составы и физико-механические свойства ячеистых материалов

Состав	Вид и массовая доля, %							Средняя плотность, кг/м ³	Прочность, МПа	
	Связующее	Заполнитель	Порообразователь	Дисперсная арматура	Суперпластификатор	Модифицирующая добавка	Вода		При сжатии	Растяжение при изгибе
1 – ФПБ	ПЦ 500, 41	Мел, 39	ПО-6, 0,01	Параполиамидная, 0,1	–	CaCl ₂ , 0,001	19,889	552	2,4	1,6
2 – НФПБ	ПЦ 500, 45	Керамзит дробленый, 32	ПБ-2000, 2	Полипропиленовое волокно, 3	Sika ViscoCrete-3, 0,2	Многослойные углеродные нанотрубки, 0,4	17,4	550	2,6	1,9

Таким образом, применение в составе сырьевой смеси дисперсной арматуры из полимерных волокон, суперпластификатора Sika ViscoCrete-3 и многослойных углеродных нанотрубок диаметром 8–40 нм и длиной 2–50 мкм, способствует увеличению прочности и коэффициента конструктивного качества пенобетона.

Армирование пенобетона комплексной модифицирующей добавкой позволяет повысить устойчивость к растяжению на изгиб, увеличить морозостойкость, огнестойкость и показатель шумоизоляции, снизить водопроницаемость бетона. Также повышается прочность к локальным нагрузкам, что расширяет сферы применения nano фибропенобетона, включая многоэтажное строительство.

В Республике Беларусь нанотехнологии в производстве пенобетона используют на ООО «Тимковичский завод бетонных изделий». Предприятие выпускает изделия из nano фибропенобетона неавтоклавного твердения:

– плиты теплоизоляционные марки по плотности D200, $R_{сж} = 0,48$ МПа, $R_{изг} = 0,12$ МПа и теплопроводностью в сухом состоянии 0,058 Вт/(м·К);

– стеновые блоки марки по плотности D500, $R_{сж} = 2,94$ МПа (В 2,0), F50, теплопроводностью в сухом состоянии 0,111 Вт/(м·К).

Сочетание прочностных характеристик с теплотехническими, долговечность (более 40 лет) и экологичность nano фибропенобетонов определяют их применение в энергоэффективном строительстве зданий.

УДК 539.3

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ УПРУГИХ ТЕЛ С ГРУНТОМ ✓

А. О. ШИМАНОВСКИЙ, М. Х. АБДУЛКАДЕР

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

При решении ряда технических задач возникает необходимость расчетов контактного взаимодействия деформируемых твердых тел с грунтом. С одной стороны, имеется необходимость анализа контактного взаимодействия различных сооружений с основаниями. С другой – важно знать, какие нагрузки возникают при бурении скважин, чтобы обеспечить оптимальные режимы работы оборудования.

В общем случае для грунта характерна нелинейная зависимость между нагрузкой и осадкой площадки, передающей нагрузку. Напряженно-деформированное состояние таких материалов описывается сложными упруго-пластическими моделями, для которых предел текучести формирует поверхность текучести, уравнение которой принимают в зависимости от критерия прочности, по которому производят расчет. Результаты исследований показали, что с высокой степенью точности описать поведение грунта позволяет модель Друкера – Прагера.

К настоящему времени получено решение лишь некоторых задач о контакте тел простой формы с учетом упругопластических деформаций. Целью представленной работы является анализ влияния физических характеристик грунтов, упруго-пластические свойства которых описываются моделью Друкера – Прагера, на их напряженно-деформированное состояние, обусловленное взаимодействием с упругим металлическим сферическим индентором.

Рассматривалось вдавливание сферического металлического индентора диаметром 15 мм в деформируемое основание, имеющее форму прямоугольного параллелепипеда. Материал индентора считался линейно-упругим, изотропным с модулем упругости $E = 2 \cdot 10^{11}$ Па и коэффициентом Пуассона $\nu = 0,3$. При моделировании основания использовалась модель Друкера – Прагера. Параметры материала приняты равными напряжению когезии $c = 2,9$ МПа, угол трения $\varphi = 32^\circ$. Расчеты выполнялись для значений модуля упругости основания E_f из диапазона от 0,01 до 26 ГПа при коэффициенте Пуассона $\nu = 0,2$.

Результаты выполненных расчетов показали, что при незначительных давлениях на плоскость индентора картина распределения напряжений и их численные значения практически не отличаются в случаях упругой и упруго-пластической моделей основания.

Увеличение приложенной к поверхности индентора распределенной нагрузки сверх значения когезии частиц материала в случае учета упруго-пластических деформаций приводит к увеличению объема зоны с наибольшими напряжениями. С другой стороны, наблюдается существенное снижение максимальных напряжений в грунте. Если для упругой модели они составляют около 46 МПа, то для модели Друкера – Прагера – 34 МПа.

Результаты расчетов продемонстрировали существенное увеличение объема областей с положительными главными напряжениями, что для материалов типа камня и песка может свидетельствовать об увеличении вероятности образования трещин и разрушения материала. О дополнительном относительном смещении частиц материала, деформирование которого описывается моделью Друкера – Прагера, свидетельствует также выравнивание уровня касательных напряжений.

УДК 624.075

КОНЕЧНОЭЛЕМЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ КОМПОЗИТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ ПОД НАГРУЗКОЙ

О. И. ЯКУБОВИЧ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Одним из путей обеспечения безопасной эксплуатации транспортных, машиностроительных и строительных конструкций является использование современных композитных материалов.

Целью данной работы является установление влияния внутренних контактных взаимодействий в элементах композита на прочность его структуры под действием приложенных к нему нагрузок. Уровни описания поведения материала можно разделить на нано- (атомистический), микро- (дислокаций и единичных пустот и включений), мезо- (определяемый микроструктурой материала, т. е. комбинацией ряда включений, слоев) и макроуровне (конкретная деталь). Предметом исследований представленной работы является мезоуровень, который в структуре материала определяется как диапазон шкалы уровней, которые на 2–3 порядка больше, чем дефектов структуры (которые варьируются в диапазоне масштабов 10^{-9} – 10^{-5} м) и на 1–3 порядка меньше, чем конкретного элемента конструкции.

С помощью компьютерного пакета ANSYS разработан ряд моделей, учитывающих особенности физических свойств и расположения армирующей фазы в матрице композита.

В качестве первой расчетной модели рассматривалась консольная балка с длиной 1 м и прямоугольным поперечным сечением 200×300 мм, которая имеет продольное несимметричное армирование, обеспечиваемое пятью стержнями диаметром 20 мм. Нагружение балки осуществлялось силами тяжести ее элементов и равномерно распределенным давлением 170 кПа, приложенным к верхней грани. Анализ результатов выполненных расчетов показал, что при адгезии, не превышающей 10 кПа, ее изменение практически не влияет на прочность и жесткость элемента. Точно так же увеличение когезии сверх 100 кПа не ведет к существенному изменению напряженно-деформированного состояния. Выполненные расчеты продемонстрировали, что в диапазоне от 10 до 100 кПа наблюдается существенное изменение напряженно-деформированного состояния композита: напряжения в арматуре увеличиваются до 30 %, напряжения в бетонной матрице уменьшаются на 12–20 %, максимальные деформации элемента увеличиваются на 20 %, максимальный зазор между арматурой и матрицей увеличивается на 15 %, контактное давление увеличивается на 30 %.