

тировочных и проверочных расчетов в различных областях механики строительства и других отраслях народного хозяйства.

Литература

1. Амбарцумян С.А. Основные уравнения и соотношения разномодульной теории упругости анизотропного тела / С.А. Амбарцумян // Изв. АН СССР. МТТ. – 1969. – № 3. – С. 51-61.
2. Бугров А.К. Анизотропные грунты и основания сооружений. / А.К. Бугров, Голубев А.И. // СПб.: Недра, 1993. — 245 с.: ил.
3. Вялов С. С. Реологические основы механики грунтов: Учеб. пособие для строительных вузов. / С.С. Вялов // М.: Высш. школа, 1978.— 447 с, ил.
4. Клованич С.Ф. Метод конечных элементов в нелинейных задачах инженерной механики. / С.Ф. Клованич // Библиотека журнала "Світ геотехніки", 9-ый выпуск. – Запорожье: Издательство журнала "Світ геотехніки", 2009. – 400 с. : ил. — Библиогр. в конце кн. — ISBN 978-966-7732-72-2
5. Трещев, А. А. Теория деформирования и прочности материалов, чувствительных к виду напряженного состояния. Определяющие соотношения : монография / А. А. Трещев // РААСН, ТулГУ .— М. : Изд-во ТулГУ, 2008 .— 264 с. : ил. — Библиогр. в конце кн. — ISBN 978-5-7679-1283-4.
6. Трещев А.А., Теличко В.Г., Царев А.Н., Ходорович П.Ю. Конечно-элементная модель расчета пространственных конструкций из материалов с усложненными свойствами // Известия ТулГУ. Технические науки. – Тула: Изд-во ТулГУ. – 2012. Вып. 10. – С. 106-115.
7. Jones R.M. Modeling Nonlinear Deformation of Carbon-Carbon Composite Materials / R.M. Jones // AIAA Journal. – 1980. – Vol. 18. – № 8. – P. 995-1001.

УДК 539.3

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ГРУНТОВЫХ ОСНОВАНИЙ

Трещев А.А., Теличко В.Г., Ходорович П.Ю., Царев А.Н.

Тулский государственный университет

Рассматривается модификация объемного конечного элемента в форме тетраэдра для расчета пространственных конструкций из анизотропных разносопротивляющихся материалов. Построена модель решения задачи определения НДС полупространства, находящегося под местным давлением.

Для повышения эффективности строительства существенно важным является совершенствование методов проектирования оснований и фундаментов, стоимость устройства которых может достигать до 20—30 % стоимости зданий и сооружений. Сложность инженерно-геологической обстановки площадок строительства, уникальность и масштабность современных сооружений (АЭС, ТЭС, установки на шельфе и др.), повышение технологических нагрузок и этажности зданий требуют возможно полного учета реальных свойств грунтов оснований, что можно обеспечить только

при использовании новейших достижений в области механики грунтов, горных пород и численных методов расчета.

Согласно [5] анизотропные грунты и породы широко распространены в коре и в верхней мантии Земного шара. Кроме того они обладают разносопротивляемостью [6]. Многие исследователи не без оснований высказывают мнение, что все грунты (нескальные породы), обладают в той или иной степени анизотропией свойств с учетом того, что при формировании в прошлые геологические эпохи они в большей или меньшей мере испытывали сложное нагружение, сформировавшее неоднородное и анизотропное напряженное состояние. Анизотропия в грунтах — скорее правило, чем исключение. К грунтам, у которых она ярко выражена, относятся ленточные глинистые отложения, лёссы и лёссовидные грунты, торфянистые, мерзлые, солонцеватые и некоторые другие разновидности. Анизотропия присуща многим полускальным и скальным породам в силу преимущественной ориентации минералов и свойств текстуры породы (слоистость, полосчатость и т. п.), трещиноватости, наличия дефектов структуры и др.

Для решения поставленной задачи авторы предлагают использовать модифицированную конечно-элементную модель построенную на базе стандартного объемного изопараметрического элемента в форме тетраэдра с 3-мя степенями свободы в узле, использующего положения общей трехмерной теории упругости [9].

Математическая модель конечного элемента

Рассмотрим объемный конечный элемент в виде тетраэдра (рис. 1) с 4-мя узлами в вершинах [7].

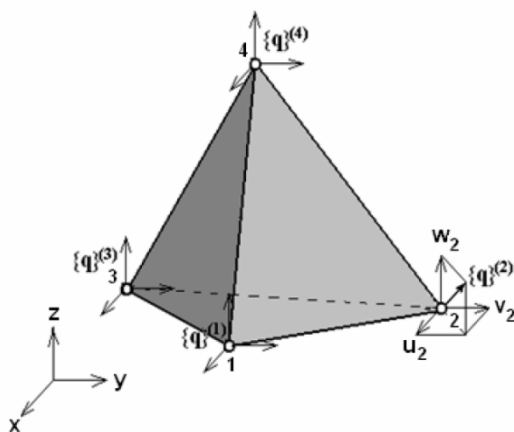


Рис. 1. Конечный элемент в виде тетраэдра

Вектор-столбец узловых перемещений i -го элемента имеет вид

$$\{q\}_i = \{\{q\}_i^{(1)} \quad \{q\}_i^{(2)} \quad \{q\}_i^{(3)} \quad \{q\}_i^{(4)}\}, \quad (1)$$

где каждый из векторов представляется тремя проекциями $\{q\}_i^{(k)} = \{q_1^{(k)} \quad q_2^{(k)} \quad q_3^{(k)}\} = \{u_k \quad v_k \quad w_k\}$.

Аналогичную структуру имеет вектор узловых сил

$$\{R\}_i = \{\{R\}_i^{(1)} \quad \{R\}_i^{(2)} \quad \{R\}_i^{(3)} \quad \{R\}_i^{(4)}\}, \quad (2)$$

где $\{R\}_i^{(k)} = \{R_1^{(k)} \quad R_2^{(k)} \quad R_3^{(k)}\}$. Связь между векторами (1) и (2) $\{R\}_i = [K]_i \{q\}_i$ осуществляется с помощью матрицы жесткости $[K]_i$. Вопросы связанные с получением матрицы жесткости решены в работе [9].

Для иллюстрации предлагаемого подхода рассмотрим задачу о давлении на полупространство (рис. 2). Исходные данные для расчета принимались следующие: размеры в плане 20000x5000 мм, по высоте 7 слоев по 2000 мм, размер зоны давления 2000x500. Механические характеристики материалов приведены в таблице 1. Интенсивность равномерно распределенной нагрузки q принималась равной 700 кПа.

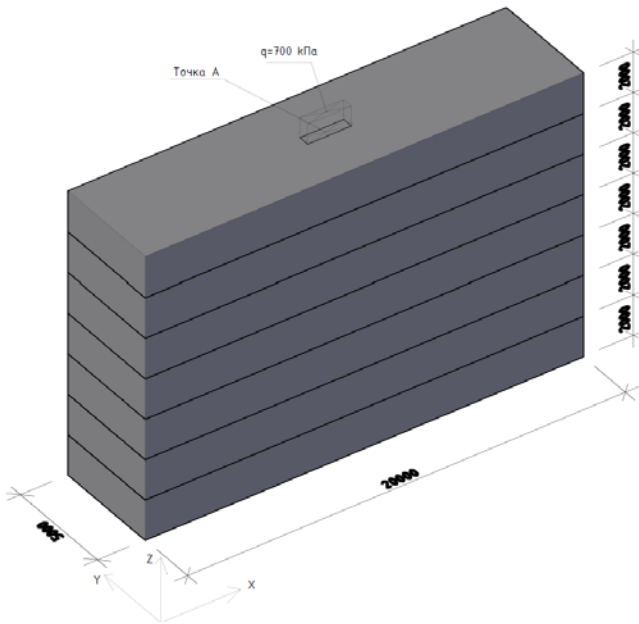


Рис. 2. Расчетная схема

Некоторые результаты расчета представлены на рис. 3-4.

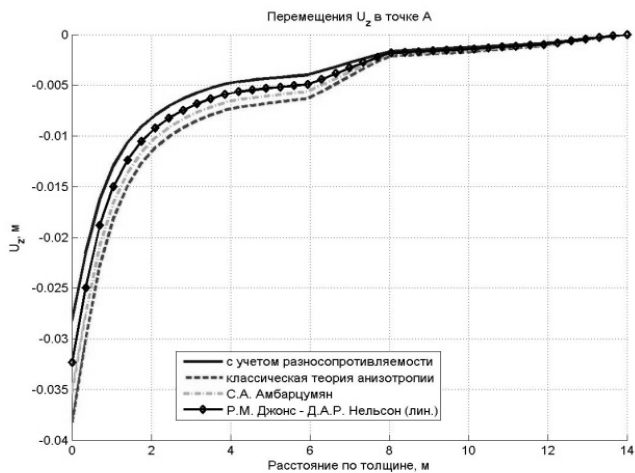


Рис. 3. Изменение вертикальных перемещений по толщине в точке А

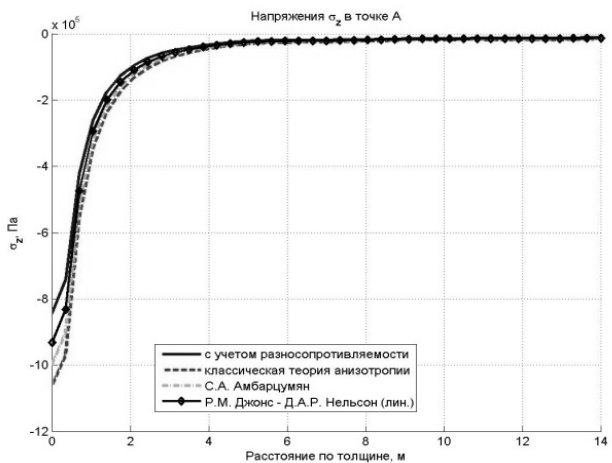


Рис. 4. Изменение напряжений σ_z по толщине в точке А

В частности, показаны изменения вертикального перемещения U_z и напряжения $\sigma_z = \sigma_{33}$ по толщине модели полупространства. Проведено сравнение результатов полученных для нескольких различных теорий: А.А. Трещева [8], классической теории анизотропии, а также результатами основанными на определяющих соотношениях С.А. Амбарцумяна [1] – [4] и Р.М. Джонса - Д.А.Р. Нельсона (в квазилинейной постановке) [10] – [15].

Проведенные авторами исследования напряженно-деформированного состояния модели полупространства из нескольких слоев разносопротивляющихся анизотропных (ортотропных) материалов показали, что предлагаемый подход, основанный на положениях трехмерной теории упругости и определяющих соотношениях А.А. Трещева [8] вполне адекватен и обладает рядом преимуществ над существующими теориями благодаря повышенной точности и удобству использования метода конечных элементов [9].

Также показано, что при проведении расчетов пренебрегать учетом явления разносопротивляемости никак нельзя, так как это может привести к значительным погрешностям в определении параметров напряженно-деформированного состояния (до 30% по напряжениям и перемещениям).

Материалы статьи могут быть полезны для специалистов в области прогнозирования поведения конструкций, а также для выполнения проективных и проверочных расчетов в различных областях механики строительства и других отраслях народного хозяйства.

Литература

1. Амбарцумян С.А. Основные уравнения и соотношения разномодульной теории упругости анизотропного тела / С.А. Амбарцумян // Изв. АН СССР. МТТ. – 1969. – № 3. – С. 51-61.
2. Амбарцумян С.А. Об одной модели наследственно-упругого тела, разносопротивляющегося растяжению и сжатию / С.А. Амбарцумян // ПИММ. – 1971. – Т. 35. – Вып. 1. – С. 49-60.
3. Амбарцумян С.А. Разномодульная теория упругости / С.А. Амбарцумян // М.: Наука, 1982. – 320 с.
4. Амбарцумян С.А. Основные уравнения теории упругости для материалов, разносопротивляющихся растяжению и сжатию / С.А. Амбарцумян, А.А. Хачатрян // Инж. журнал МТТ. – 1966. – № 2. – С. 44-53.
5. Бугров А.К. Анизотропные грунты и основания сооружений. / А.К. Бугров, Голубев А.И. // СПб.: Недра, 1993. — 245 с.: ил.
6. Вялов С. С. Реологические основы механики грунтов: Учеб. пособие для строительных вузов. / С.С. Вялов // М.: Высш. школа, 1978.— 447 с, ил.
7. Клованич С.Ф. Метод конечных элементов в нелинейных задачах инженерной механики. / С.Ф. Клованич // Библиотека журнала "Світ геотехніки", 9-ый выпуск. – Запорожье: Издательство журнала "Світ геотехніки", 2009. – 400 с. : ил. — Библиогр. в конце кн. — ISBN 978-966-7732-72-2

8. Трещев, А. А. Теория деформирования и прочности материалов, чувствительных к виду напряженного состояния. Определяющие соотношения : монография / А. А. Трещев // РААСН, ТулГУ .— М. : Изд-во ТулГУ, 2008 .— 264 с. : ил. — Библиогр. в конце кн. — ISBN 978-5-7679-1283-4.
9. Трещев А.А., Теличко В.Г., Царев А.Н., Ходорович П.Ю. Конечно-элементная модель расчета пространственных конструкций из материалов с усложненными свойствами // Известия ТулГУ. Технические науки. – Тула: Изд-во ТулГУ. – 2012. Вып. 10. – С. 106-115.
10. Jones R.M. A Nonsymmetric Compliance Matrix Approach to Nonlinear Multimodulus Orthotropic Materials / R.M. Jones // AIAA Journal, 1977. – Vol. 15. - № 10. –P. 1436-1443.
11. Jones R.M. Modeling Nonlinear Deformation of Carbon-Carbon Composite Materials / R.M. Jones // AIAA Journal. – 1980. – Vol. 18. – № 8. – P. 995-1001.
12. Jones R.M. Stress-Strain Relations for Materials with Different Moduli in Tension and Compression / R.M. Jones // AIAA Journal, 1977. – Vol. 15. – № 1. – P. 16-25.
13. Jones R.M. Theoretical-experimental correlation of material models for non-linear deformation of graphite / R.M. Jones, D.A.R. Nelson // AIAA Journal. – 1976. – Vol. 14. – № 10. – P. 1427-1435.
14. Jones R.M. Material for nonlinear Deformation / R.M. Jones, D.A.R. Nelson // AIAA Journal. – 1976. – Vol. 14. – № 6. – P. 709–716.
15. Jones R.M. Further characteristics of a nonlinear material model for ATJ-S Graphite / R.M. Jones, D.A.R. Nelson // Journal Composit Materials – 1975. – Vol. 9. – № 7. – P. 251–265.

УДК 539.3

ПОТЕНЦИАЛ ДЕФОРМАЦИЙ ДЛЯ НЕЛИНЕЙНО ОРТОТРОПНЫХ РАЗНОСОПРОТИВЛЯЮЩИХСЯ МАТЕРИАЛОВ

Трещев А.А., Лисицкий В.С.

Тулльский государственный университет

Построен новый потенциал деформаций для нелинейно ортотропных материалов, описывающий их деформирование с учетом чувствительности механических характеристик к виду напряженного состояния. Предложенный потенциал апробирован на примере углерода AVCO Mod 3a и может быть использован для расчета конструкций с учетом физической нелинейности.

В строительстве и других отраслях промышленности в настоящее время получили широкое применение конструкционные материалы, механические свойства которых не соответствуют классическим представлениям об упругопластическом деформировании твердых тел.

Построение математической модели состояния конструкционных материалов, универсально работающей при различных условиях нагружения, представляет собой одно из важнейших направлений механики деформированного твердого тела. Требуется установить