

0.1. Ключанцев В.С. Гибридная МКЭ/МСЧ схема дискретизации для моделей с нелокальным накоплением повреждений в пластичных материалах

В задачах механики твердого тела применяются как сеточные методы, включая метод конечных элементов (МКЭ), так и бессеточные, такие как метод сглаженных частиц (МСЧ) [1,2]. При умеренных конечных деформациях, континуум дискретизируется с помощью МКЭ с большей точностью, чем с помощью МСЧ. Однако, при больших деформациях точность аппроксимации МКЭ снижается из-за существенных искажений сетки, поэтому для построения численных решений лучше подходит МСЧ. В частности, с помощью МСЧ более корректно моделируется образование новых свободных поверхностей.

В работе представлен гибридный подход к моделированию нелинейных деформаций твердых тел, который сочетает МКЭ и МСЧ. Основное внимание уделено плавному переходу между двумя подходами к описанию деформаций континуума (МКЭ и МСЧ) в ходе вычислений. При этом объем расчетной области динамически перераспределяется между элементами МКЭ и частицами МСЧ, что позволяет эффективно моделировать локализацию деформаций и разделение конструкции на части при ее разрушении. Подход разработан таким образом, чтобы снизить вычислительные затраты за счет применения смешанного алгоритма для ассемблирования вектора внутренних сил. Такая гибридная схема объединяет преимущества обоих методов, одновременно минимизируя их недостатки.

В рамках гибридной схемы МКЭ/МСЧ имплементированы нелокальные модели накопления повреждений интегрального типа [3, 4]. Эти модели предотвращают появление неустойчивых решений, а также устраняют патологическую зависимость результатов моделирования от размера конечных элементов и мелкости дискретизации. Делокализация величин, связанных с повреждением, реализована через интегральное сглаживание [3], что позволяет достичь физически корректного описания процессов разрушения.

Представлена иерархия задач для численного тестирования гибридной схемы. Численные эксперименты включают задачу о простом сдвиге для модели упругости, а также задачи растяжения конструкции с V-образными вырезами из повреждаемого упругопластического материала. Рассмотренные примеры демонстрируют ключевые преимущества гибридного подхода, включая высокую точность и стабильность решений при работе с неравномерными сетками и сложными напряженно-деформированными состояниями.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (грант № 23-19-00514).

Список литературы

- [1] MONAGHAN J. J. Smoothed particle hydrodynamics // In: Annual review of astronomy and astrophysics. 1992. Vol. 30. P. 543-574.
- [2] SHUTOV A. V., KLYUCHANTSEV V. S. On the application of SPH to solid mechanics // Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing. 2019. Vol. 1268. P. 012077.
- [3] BAŽANT Z. P. AND JIRASEK M. Nonlocal integral formulations of plasticity and damage: survey of progress // Journal of Engineering Mechanics. 2002. Vol. 128. P. 1119–1149 .
- [4] SHUTOV A. V., KLYUCHANTSEV V. S. Large strain integral-based nonlocal simulation of ductile damage with application to mode-I fracture // International Journal of Plasticity. 2021. Vol. 144. P. 103061.