УДК 551.2/3

Г.П. ШЕРЕМЕТ, Д.Б.ВЕНГРОВИЧ, І.Н. ГУБАР
Інститут геофізики ім. С.И. Субботіна НАН України, ВГВ

МОДЕЛЮВАННЯ ЕВОЛЮЦІЇ ПОЛЯ НАПРУЖЕНЬ В НЕОДНОРІДНОМУ ГЕОФІЗИЧНОМУ СЕРЕДОВИЩІ

Ми поєднали експериментальні дослідження і числові розрахунки для дослідження еволюції полів напружень в динамічних процесах для моделей структурованого середовища.
Ключові слова: еволюція, поле напружень, геофізичне середовище.

Г.П. ШЕРЕМЕТ, Д.Б.ВЕНГРОВИЧ, І.Н. ГУБАР
Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины, ОГВ

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЕВОЛЮЦИИ ПОЛЯ НАПРЯЖЕНИЙ В НЕОДНОРОДНОЙ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ СРЕДЕ

Мы провели совместные экспериментальные исследования и численные расчеты эволюции полей напряжений в динамических процессах для моделей структурированной среды.
Ключевые слова: эволюция, поле напряжений, геофизическая среда.

G.P. SHEREMET, D.B. VENGROVICH, I.N. GUBAR
Institute of Geophysics S.I. Subbotin NAS of Ukraine, DGE

MODELING OF STRESS EVOLUTION IN INHOMOGENEOUS GEOPHYSICAL MEDIA

We had combined the experimental researches and numerical calculations for the study of evolution of the stress fields in dynamic processes for the models of the structured environment.
Keywords: evolution, stress fields, geophysical environment.

Постановка проблеми

Згідно сучасних досліджень, характерними особливостями тріщинуватого геофізичного середовища є ієрархічна будова і наявність неоднорідностей, що проявляється на мікро-, мезо- і макрорівні масштабу. В динамічних задачах ієрархія блоків породжує ієрархію характерних часів взаємодії між сусідніми елементами структури, що, як правило, не розглядається в моделях суцільного середовища [1-3]. Дослідження складних процесів взаємодії в геофізичному середовищі з ієрархічною будовою актуальні, зокрема, для фізичного обґрунтування особливостей еволюції хвильових полів, що використовується нами для побудови нових технологій інтенсифікації видобування вуглеводнів [4].

Аналіз останніх досліджень і публікацій

В роботі методами математичного та фізичного (поляризаційно-оптичного і тензометричного) моделювання [5-7] вивчена еволюція напружень, що виникають при квазістатичному і імпульсному навантаженні моделей структурно-неоднорідного середовища. Досліджувались дискретні моделі двохвимірних упаковок із фотопружних дисків та суцільні моделі з включеннями дисків. Структурні елементи – гранули діаметром 10 або 20 мм – розміщувались між двома прозорими пластинками в жорсткій обмежувальній рамці. Диски-гранули були виготовлені із оптично-чутливих полімерів, їх механічні властивості (пружно-пластичне рівняння стану) були отримані нами окремо.

Особливістю і складністю математичного моделювання в даному випадку є сумісне використання методу скінченних елементів та розв’язків контактних задач для гранульованого середовища. В експерименті ж кінограми ізохром, отримані методом динамічної фотопружності [6] для імпульсно-навантажуваних моделей, давали повну інформацію про динаміку процесів, амплітуди і швидкості поширення хвиль напружень. Експериментальні дані співставлялися із розрахунковими.

Викладення основного матеріалу дослідження

Результати квазістатичних експериментів (рис. 1б, 2б) і розрахунків (рис. 1а, 2а) показують, що в структурованому середовищі в процесі самоорганізації утворюються локалізовані структури навантаження, ланцюги напружень тощо, які в динамічних процесах визначають характер розповсюдження хвиль.

Надалі в таких моделях вивчались процеси розповсюдження локалізованих і періодичних хвиль, згенерованих зовнішнім ударом або звуковим генератором. На рис.1б приведені отримані експериментально загальні картини розподілу напружень в щільній упаковці пружних дисків однакового діаметру у випадку їх утримання жорсткими стінками і втиснення всередину упаковки додаткових елементів. На рис.1а приведені результати чисельного моделювання аналогічного експерименту методом елементної динаміки. Темні

відрізки між гранулами – інтенсивність міжгранульних сил на момент врівноваження системи. Від розміру втиснених всередину упаковки додаткових елементів залежить картина утворюваних силових ланцюжків. В областях включень на структурних елементах зароджуються в певних напрямках силові ланцюги напружених гранул.

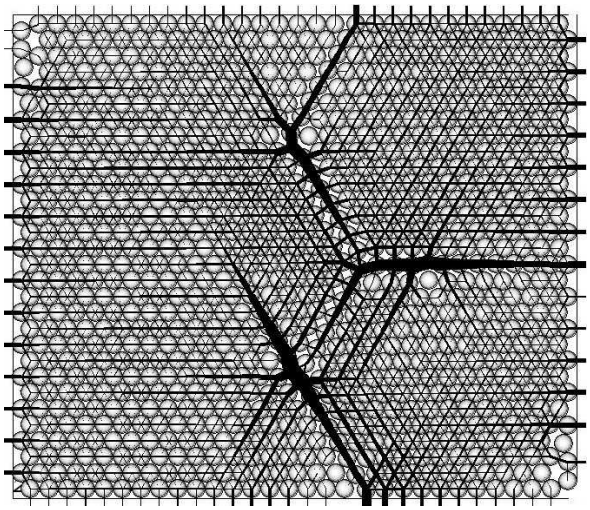

Рис. 1а. Результат чисельного моделювання експерименту з трьома розпираючими гранулами , отриманий методом елементної динаміки. Темні відрізки між гранулами – інтенсивність міжгранулярних сил на момент врівноваження системи (динамічний розрахунок).

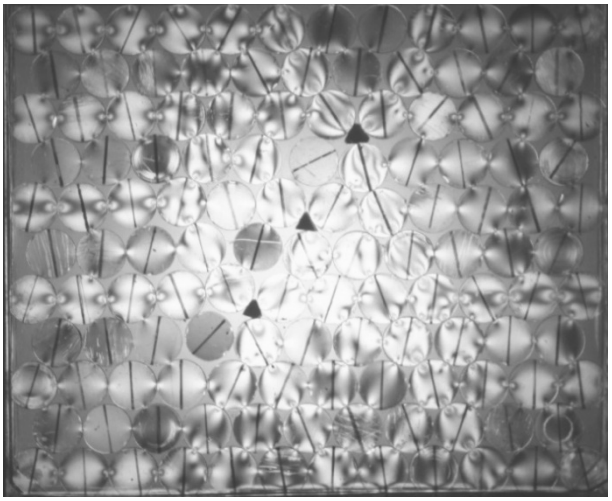

Рис. 1б. Напружено-деформований стан регулярної упаковки гранул з оптично- чутливого полікарбонату, створений додатковими (в центрі) трьома розпираючими гранулами. Риски нанесені на гранулах, фіксують кути їх поворотів поляризаційно-оптичним методом – квазістатика.

При імпульсних режимах деформування таких неоднорідних моделей спостерігалось групування гранул в кластери, проходження імпульсного збурення по них у вигляді усамітнених хвиль солітоноподібного типу (компактонів). При дослідженні динамічних процесів в таких структуровано-навантажених середовищах вивчались параметри нелінійних хвиль. Вивчено вплив пластичності на досліджувані процеси, закономірності розворотів гранул та динаміку перерозподілу навантаження вздовж розгалужених ланцюгів.

Результат чисельного моделювання скінченноелементної моделі з розрахунком контактних взаємодій для пластини з полікарбонату з отворами, в яких розміщені гранули, приведений на рис. 2 а. – ізолінії величини $\sigma_x - \sigma_y$, аналогічний результат експерименту – рис. 2 б.

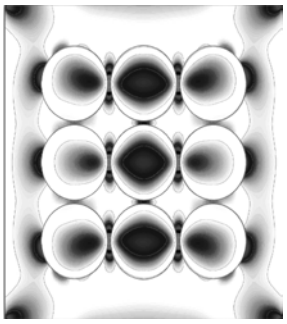

Рис. 2 а.

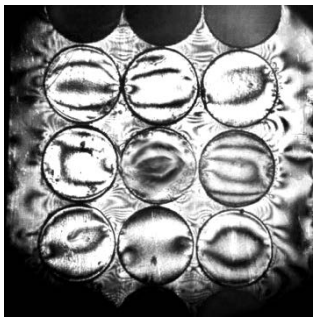

Рис. 2 б.

Для аналізу проходження імпульсного збурення по силовим ланцюгам у вигляді усамітнених хвиль солітоноподібного типу проводились експерименти з ланцюговими одновимірними моделями при навантаженні з допомогою бійка, маса якого дорівнювала масі диска ланцюга. Бойок прискорювався шляхом електропідривання на ньому мідної фольги або мікрозаряду єврокапсуля або капсуля Жевело-Н. При проходженні збурення в ланцюгових моделях з однакових гранул (дисків діаметром 20 мм, товщиною 5 мм) спостерігалось формування компактона (рис. 3). Отримана інформація про характеристики еволюції таких хвиль: амплітуди та фазові швидкості, тривалість контакту гранул, просторові розміри компактонів.

На рис. 4 приведені визначені по кінограмам ізохром залежності максимальних напружень від часу в центрі диску ланцюжка дисків поліметилметакрилата діаметром 0,04 м (кр. 1) і в центрі контактуючого із ним диска-включення в ланцюжок діаметром 0,02 м (кр. 2).

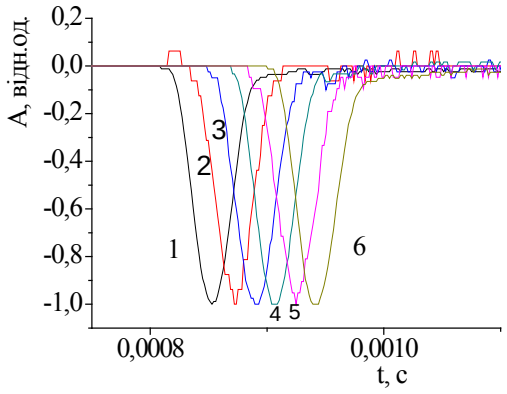

Рис. 3. Криві поздовжнього деформування 1-6 в центрах відповідно 5-10 дисків ланцюга дисків з полікарбонату діаметром 0,02 м при проходженні компактона.

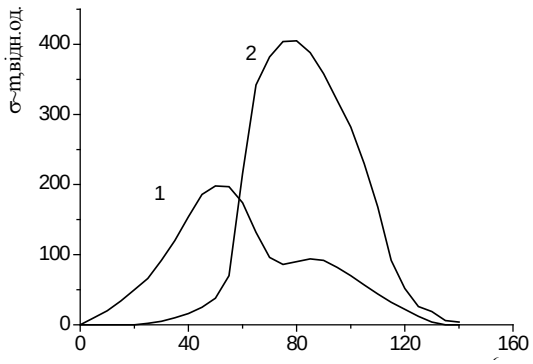

Рис. 4. Максимальні значення динамічних напружень (σ_m ~ m) на вісі симетрії досліджуваних ланцюжків, при проходженні збурення від електропідривання єврокапсуля, поблизу міждискових контактів не перевищували 12 МПа, а в центрі дисків ланцюжка діаметром 0,04 м і в центрі диска - включення діаметром 0,02 м не досягали 2 и 4 МПа, відповідно. діючих сил навантаження і реакції опору ланцюжка

Отримані результати свідчили про те, що в одновимірних ланцюгах однакових дисків з включенням, розміри і вага якого відрізняються від характеристик диска, в процесі їх деформування при проходженні довгохвильового збурення, поле напружень має нерівноважний характер і найбільші напруження реалізуються на меншому диску – включенні (рис. 4).

В умовах динамічного ударного навантаження, суттєвими стають динамічні ефекти, коли інерція елементів структури впливає на еволюцію поля напружень. При цьому характеристики довгохвильового імпульсу навантаження визначають миттєві значення поля напружень.

Список використаної літератури

1. Даниленко В.А. Нелінійні математичні моделі середовищ з часовою та просторовою нелокальностями / В.А. Даниленко, Т.Б. Даневич, С.І. Скуратівський. – Київ: Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, 2008. – 86 с.
2. Садовський М.А. Автомодальность геодинамических процессов / М.А. Садовський // Вестник АН СССР. – 1986. – №8. – С.3-11.
3. Панин В.Е. Структурные уровни деформации твердых тел / В.Е. Панин, Ю.В. Гриняев, Т.Ф. Елсукова, А.Г. Иванчин // Известия высших учебных заведений. Физика. –1982. – №6. – С. 5-28.
4. Нагорний В.П. Імпульсні методи відновлення продуктивності водозабірних свердловин. Довідник. – Київ: Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, 2011. – 187 с.
5. Венгрович Д.Б. Исследование превращений динамической загрузки в неоднородной зернистой среде / Д.Б. Венгрович, И.Н. Губарь, Г.П. Шеремет // Материалы IX Международной научной конференции "Импульсные процессы в механике сплошных сред" (г. Николаев, 15-19 августа 2011 г.) – Николаев: КП "Миколаївська обласна друкарня", 2011. – С. 94-97.
6. Докукин А.В. Исследование массива горных пород методами фотомеханики и др. / А.В. Докукин, В.Ф. Трумбачев, О.К. Славин М.: Наука. – 1982. – 272 с.
7. Метод фотоупругости. Т. 2 / Под общ. ред. Г.Л. Хесина. – М.: Стройиздат,1975. – 367 с.