

АНОТАЦІЯ

Сенько А.В. Розв'язання двовимірних задач руйнування при повзучості на основі схеми МСЕ. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 113 «Прикладна математика». – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, 2020.

Об'єкт дослідження – двовимірні елементи при повзучості, що обумовлена дією статичного та періодичного навантаження.

Предмет дослідження – процеси повзучості, пошкоджуваності та руйнування, які відбуваються у тілах, розрахункові схеми яких відповідають двовимірним задачам.

Перший розділ роботи містить огляд наукових публікацій за напрямом роботи. Розглянуто питання чисельного моделювання процесів накопичення прихованої пошкоджуваності та руйнування металевих деформівних тіл при повзучості. Проаналізовано основні підходи, що дозволяють виконувати формулювання кінетичних рівнянь для параметру пошкоджуваності, насамперед в умовах повзучості матеріалу. Надано стислий опис підходів механіки руйнування стосовно задач повзучості.

Визначено, що базовим чисельним методом, що використовується при складному напруженому стані для аналізу повзучості, яка супроводжується накопиченням пошкоджуваності, наразі є метод скінченних елементів (МСЕ). Виконано огляд сучасних публікацій за темою, увагу приділено застосуванню алгоритмів МСЕ для розв'язання задач повного руйнування тіл складної геометрії, які деформуються в умовах повзучості: як на першому етапі накопичення прихованих пошкоджень, так й на другому – зростання та розвитку макродефектів (тріщин). На основі виконаних аналітичних досліджень наукових напрямів та підходів проведено формулювання задач досліджень, які потрібно розв'язати у роботі, намічено шляхи побудови методу розрахунку.

Метод розв'язання двовимірної задачі руйнування при повзучості викладено у другому розділі дисертаційної роботи. Надано математичне формулювання задачі повзучості, пошкоджуваності та руйнування при двовимірному напруженому стані, яке проведено для випадку спільної дії статичних та циклічних навантажень. Описано застосування методу скінченних елементів та різницевого методу для розв'язання двовимірних задач повзучості, що супроводжується пошкоджуваністю. Увагу приділено формуванню скінченноелементного підходу до розв'язання задачі руйнування при повзучості. Описано основні етапи запропонованого методу розв'язання задачі розповсюдження макродефекту чи тріщини повзучості з урахуванням нестационарного характеру розподілу пошкоджуваності в їхньому okolí. Сформульовано підхід до використання скінченноелементних розв'язків для отримання диференційного рівняння 1-го порядку для опису процесу розповсюдження тріщини. Описано результати з дослідження достовірності розв'язків, що отримуються при чисельному моделюванні руйнування при повзучості, надано результати порівняння чисельних та експериментальних результатів з повзучості та руйнування зразків з надрізами для верифікації методу розрахунку.

Третій розділ присвячено опису результатів чисельного моделювання руйнування при повзучості у пластинах з надрізами та отворами при розтягу. Розглянуто плоский напружений стан. Проаналізовано чисельні дані, що отримано для пластини з гострими надрізами, виготовленої з жароміцного нікелевого сплаву. Встановлено вплив навантаження на перебіг процесу розвитку тріщини повзучості.

Надано результати розв'язання аналогічної задачі руйнування пластини з коловими надрізами. Описано підхід до проведеного моделювання. Показано можливість виникнення двох тріщин в okolí первісно зародженого макродефекту.

Проведено чисельне моделювання руйнування при повзучості пластини з центральним коловим отвором. Визначено вплив неоднорідного

температурного поля на параметри процесу накопичення пошкоджень та руйнування.

Розглянуто чисельні дані, що отримано при моделюванні руйнування пластини з двома отворами.

Четвертий розділ присвячено розрахунковим дослідженням руйнування стрижневого твелу ядерного реактору. Отримано матеріальні константи, що входять до рівнянь стану повзучості та пошкоджуваності оксиду урану. Розроблено підхід до моделювання циклічної дії згинних напружень. Виконано розрахунки пошкоджуваності та руйнування твелу при плоскій деформації.

Змістом п'ятого розділу є формулювання та розв'язання диференціальних рівнянь для опису руху тріщини при повзучості. На базі розробленого підходу, що вимагає проведення попереднього скінченноелементного моделювання, визначено параметри, що входять до диференціального рівняння руху тріщини. Розглянуто випадок тріщин у зразках з гострими надрізами. Побудовано рівняння для моделювання руху тріщини у пластині з центральним отвором.

Ключові слова: повзучість, пошкоджуваність, руйнування, макродефект, тріщина, двовимірна задача теорії повзучості, МСЕ, надріз, виріз.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

Наукові праці, в яких опубліковано основні наукові результати дисертації:

1. Breslavsky D.V., Breslavska O.O., Kozlyuk A.V. Web tools for long term strength data processing. *Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Динаміка і міцність машин.* Харків : НТУ «ХПІ», 2016. № 46 (1218). С. 73-76.
2. Breslavsky D., Uspensky V., Kozlyuk A., Pashchenko S., Tatarinova O., Kuznyetsov Yu. Estimation of heat field and temperature models of errors in

fiber-optic gyroscopes used in aerospace systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017., vol 1, № 9 (85). P. 44-53

3. Breslavsky D., Kozlyuk A., Tatarinova O.. Numerical simulation of two-dimensional problems of creep crack growth with material damage consideration. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Applied mechanics*. Vol 2, No 7 (92) (2018). P.27-33.

4. Бреславський Д.В., Сенько А.В. Пошкоджувальність та руйнування циліндричних твелів ядерних реакторів. *Вісник НТУ "ХПІ": Серія "Динаміка та міцність машин"* № 2. Харків, 2019. С. 19-23.

5. Бреславський Д.В., Сенько А.В., Татарінова О.А., Чернобрівко М.В., Аврамов К.В. Числове моделювання розділення конічної оболонки при спрацюванні стрічкового заряду. *Техн. механіка*. 2020. № 2. С 57-65.

Опубліковані праці апробаційного характеру:

6. Бреславський Д.В., Козлюк А.В., Пащенко С.О. Розрахунки температурних режимів та міцності елементів конструкцій нагрівальних печей. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXIV міжнар. наук.-практ. конф.*, Харків, 19-20 травня 2016 р.: у 4 ч. Харків: НТУ «ХПІ», 2016. Ч. 1. С. 49.

7. Козлюк, А.В., Бреславський Д.В. Чисельні дослідження руйнування внаслідок повзучості при плоскому напруженому стані *XI Міжнародна науково-практична конференція магістрантів та аспірантів (18–21 квітня 2017 року): матеріали конференції: у 3-х ч. Ч. 1.* за ред. проф. Є.І. Сокола. Харків : НТУ «ХПІ», 2017. С. 29

8. Бреславський Д.В., Козлюк А.В., Морачковський О.К., Пащенко С.О., Татарінова О.А. Аналіз впливу термосилових та радіаційних полів на деформування приладів космічної техніки. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXV міжнар. наук.-*

практ. конф., Харків, 17-19 травня 2017 р.: у 4 ч. Харків: НТУ «ХП», 2017. Ч. 1. С. 50.

9. Козлюк А.В., Бреславський Д.В. Пошкоджувальність та руйнування при повзучості у пластинах з надрізами *XII Міжнародна науково-практична конференція магістрантів та аспірантів (17–20 квітня 2018 року): матеріали конференції: у 3-х ч. Ч. 3.* за ред. проф. Є.І. Сокола. Харків : НТУ «ХП», 2018. с. 166

10. Бреславський Д.В., Козлюк А.В. Чисельне моделювання руху тріщини при повзучості *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVI міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2018, 16-18 травня 2018р.: у 4 ч. Ч. I.* за ред. проф. Сокола Є.І. Харків: НТУ «ХП». 43 с.

11. Бреславський Д.В., Татарінова О.А., Пащенко С.О., Метельов В.О., Сенько А.В., Коритко Ю.М. Методи й програмні засоби для розрахунку повзучості та руйнування конструктивних елементів машин. *Матеріали V міжнародної науково-технічної конференції «Актуальні проблеми інженерної механіки та технології машинобудування»*, Миколаїв, 17-19 жовтня 2018 р. Нац. ун-т кораблебудування ім. адмірала Макарова. Миколаїв, 2018. С. 7-8.

12. Бреславський Д.В., Метельов В.О., Коритко Ю.М., Пащенко С.О., Сенько А.В., Татарінова О.А. Програмні засоби для розрахункового аналізу повзучості та руйнування елементів конструкцій. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVII міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2019, 15-17 травня 2019 р.: у 4 ч. Ч. I.* за ред. проф. Сокола Є.І. Харків: НТУ «ХП». 60 с.

13. Сенько А.В. Розрахунковий аналіз розповсюдження тріщин в твелах АЕС. *XV Міжнародна науково-технічна конференція молодих вчених та фахівців «Проблеми сучасної ядерної енергетики»*, 13–15 листопада 2019 року: тез. доп. Х.: Фінарт, 2019. С. 12.

Опубліковані праці які додатково відображають наукові результати:

14. Свідоцтво про реєстрацію авторського права. А. с. № 83455. Україна.
Комп'ютерна програма "Розв'язання двовимірних задач повзучості, пошкоджуваності та розповсюдження тріщини" ("FEM creep-damage-fracture")
/ Д.В. Бреславський, А.В. Сенько, О.А. Татарінова. Заявл. 12.11.18, № 82758;
Опубл. 12.11.18.