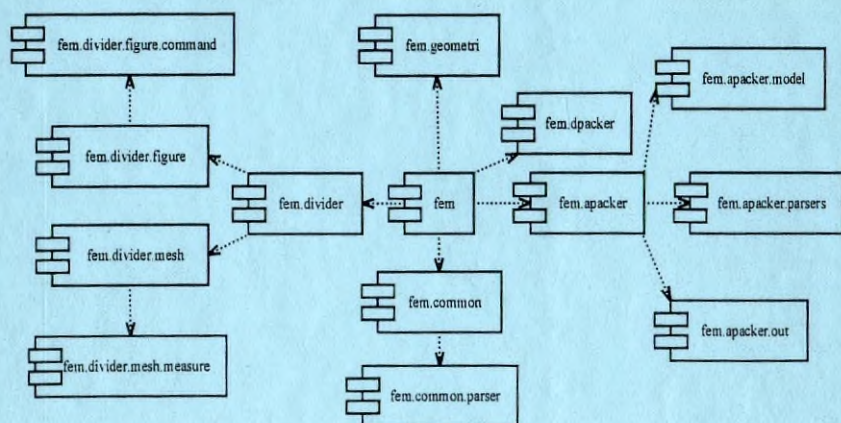


Д. В. Бреславський  
Ю. М. Коритко  
О. А. Татарінова

# ПРОЕКТУВАННЯ ТА РОЗРОБКА СКІНЧЕННОЕЛЕМЕНТНОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ



**МОНОГРАФІЯ**

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«Харківський політехнічний інститут»

**Д. В. Бреславський, Ю. М. Коритко, О. А. Татарінова**

**ПРОЕКТУВАННЯ ТА РОЗРОБКА  
СКІНЧЕННОЕЛЕМЕНТНОГО  
ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ**

**Монографія**

Харків  
Підручник НТУ «ХПІ»  
2017

УДК 004.896:539.3  
ББК 32.973-018.2:34.41  
Б87

Р е ц е н з е н т и :

- О. Я. Григоренко*, д-р фіз.-мат. наук, проф., керівник відділу обчислюваних методів Інституту механіки ім. С. П. Тимошенка НАН України, м. Київ;  
*В. З. Грицак*, д-р техн. наук, проф., зав. кафедри прикладної математики та механіки Запорізького національного університету;  
*Л. В. Курна*, д-р техн. наук, проф., зав. кафедри прикладної математики Національного технічного університету «ХПІ».

Друкується за рішенням вченої ради Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», протокол № 10 від 23.12.2016 р.

**Бреславський Д. В.**

Б87 Проектування та розробка скінченноелементного програмного забезпечення : монографія / Д. В. Бреславський, Ю. М. Коритко, О. А. Татарінова. - Харків : Вид-во «Підручник НТУ «ХПІ»», 2017. — 232 с.

ISBN 978-617-687-083-8

Монографію присвячено питанням проектування, розробки та тестування програмного забезпечення, створеного для реалізації алгоритмів одного з найрозповсюдженіших методів розв'язання задач математичної фізики, насамперед механіки та теплофізики, - методу скінченних елементів. Наведено діаграми класів, методи й алгоритми, описи програмних модулів, розв'язки тестових задач.

Призначено для наукових співробітників, аспірантів та інженерів, що працюють у царині розробки та застосування спеціалізованого програмного забезпечення.

Іл. 91. Табл.:2. Бібліогр.: 132 назви.

УДК 004.896:539.3  
ББК 32.973-018.2:34.41

ISBN 978-617-687-083-8

- © Д. В. Бреславський, Ю. М. Коритко,  
О. А. Татарінова, 2017  
© Підручник НТУ «ХПІ», 2017

## З М І С Т

Вступ.....	5
------------	---

### Г л а в а 1

<b>Технології проектування та їхнє застосування при створенні прикладного програмного забезпечення.....</b>	<b>11</b>
---	-----------

1.1. Огляд сучасних технологій та особливості їхнього використання при розробці <i>CAE</i> програм.....	12
1.2. Проектування програмних засобів для розрахунків методом скінченних елементів.....	31
1.2.1. Проектування препроцесорів.....	32
1.2.2. Проектування постпроцесорів.....	63
1.2.3. Особливості розробки коду математичного процесору.....	67

### Г л а в а 2

<b>Математичне формулювання задач теорії повзучості.....</b>	<b>72</b>
--	-----------

2.1. Загальна постановка задач повзучості.....	73
2.2. Скінченоелементне формулювання задач.....	90

### Г л а в а 3

Розробка скінченноелементних підпрограм .....	98
---	----

3.1. Опис скінченних елементів, що використовуються.....	99
3.2. Визначення матриць жорсткості та мас.....	105
3.3. Підрахунки вузлових зусиль.....	111
3.4. Розв'язання систем лінійних алгебраїчних рівнянь та повної проблеми власних значень.....	115
3.5. Інтегрування систем диференціальних рівнянь за часом.....	119
3.6. Інтегрування за скінченним елементом.....	122

3.7. Регуляризація результатів.....	123
3.8. Бази даних фізико-механічних характеристик.....	125
3.9. Особливості врахування циклічності температурних та силових полів.....	130
3.10. Задачі МСЕ у випадку великих деформацій.....	131

## **Глава 4**

<b>Препроцесорні частини</b> .....	135
------------------------------------	-----

4.1. Прпроцесор <i>Divider</i> для двовимірних задач.....	135
4.2. Підготовка даних для трьохвимірних задач.....	142
4.3. Виключення зруйнованих елементів.....	144
4.4. Випадок великих деформацій.....	148
4.5. Препроцесорна частина комплексу <i>Shell Creep Calculations</i> .....	158

## **Глава 5**

<b>Програми візуалізації результатів розрахунків</b> .....	165
--	-----

5.1. Двовимірні задачі.....	165
5.1.1. Інтеграція з препроцесором.....	166
5.1.2. Експорт даних.....	167
5.1.3. Постпроцесінг он-лайн.....	168
5.1.4. Проблемно орієнтовані пре- та постпроцесори .....	176
5.2. Трьохвимірні задачі.....	183
5.3. Оболонки.....	191

## **Глава 6**

<b>Тестування програмних комплексів</b> .....	196
---	-----

6.1. Тестування сервісних програм.....	197
6.2. Функціональне та комплексне тестування.....	200
6.3. Бенчмаркінг при чисельному аналізі.....	205

Список використаних джерел.....	218
---------------------------------	-----