

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ
ХЕРСОНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

СЕНИЧАК Василь Михайлович

УДК 621.3:539.3

**ПРИСКОРЕНІ АЛГОРИТМИ І ПРОГРАМИ ЧИСЕЛЬНОГО
РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ЗАДАЧ КРУЧЕННЯ ПРУЖНИХ СТЕРЖНІВ
ДОВІЛЬНОГО ПЕРЕРІЗУ**

⁰⁴
05.13.06 - Автоматизовані системи управління і
прогресивні інформаційні технології

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

ХЕРСОН - 1997



00751514 (N)

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано в Івано-Франківському
нафти і газу.

Науковий керівник доктор фізико-математичних наук, професор,
Хомченко Анатолій Никифорович
ХДГУ, завідувач кафедри прикладної
математики і математичного моделювання

Науковий консультант кандидат технічних наук, доцент,
Юрчишин Володимир Миколайович
ІФДТУНГ, завідувач кафедри прикладної математики

Офіційні опоненти:

доктор фізико-математичних наук, професор **Ленюк Михайло Павлович**,
ЧДУ ім. Ю. Федьковича, професор кафедри диференціальних рівнянь

кандидат фізико-математичних наук, доцент **Абрамов Геннадій Серафимович**,
ХДГУ, доцент кафедри прикладної математики і математичного моделювання

Провідна установа:

Державний університет "Львівська політехніка", кафедра обчислювальної
математики і програмування, кафедра будівельної механіки, м. Львів

Захист відбудеться 27 10 1997 року о 13 годині на засіданні
спеціалізованої вченої ради К 19.01.06 у Херсонському державному технічному
університеті за адресою: 325008, м. Херсон, Бериславське шосе 24, корп.3, ауд.
322

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Херсонського державного
технічного університету за адресою: 325008, м. Херсон, Бериславське шосе 24,
корп.1

Автореферат розісланий 26 09 1997 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Рогальський Ф. Б.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми

Ефективні дослідження теплових і механічних процесів у машинобудуванні, суднобудівній промисловості, авіаційних, будівельних, гідротехнічних, трубопровідних та інших важливих інженерних спорудженнях і конструкціях все більше опираються на дискретні моделі механіки деформівного твердого тіла (МДТТ). Наділені можливістю дуже точно зберігати енергетичний баланс, ці моделі відкривають широкі перспективи для застосування в інженерній практиці досить добре опрацьованих наближених методів. Це може бути метод скінченних різниць (МСР), метод скінченних елементів (МСЕ), метод граничних елементів (МГЕ), метод контрольних об'ємів (МКО), або широко розповсюджений алгоритм методу Монте-Карло. Однак, традиційні форми дискретних методів приводять до задач великої розмірності, що вимагають для свого розв'язання значних витрат часу і використання високопродуктивних ЕОМ.

У зв'язку з цим виникла актуальна проблема пониження розмірності задач і прискорення обчислень. Одним із шляхів впровадження прогресивних інформаційних технологій є перехід до простіших моделей і економічніших обчислювальних схем. Нові прийоми прискорених обчислень, що дають змогу цілеспрямовано і швидко корегувати параметри об'єкта на стадії проектування, мають здатність суттєво скоротити строки і вартість розробок. Тому особливої актуальності тепер набувають питання побудови спрощених моделей, розробки швидких методів обчислень та важливі питання алгоритмізації обчислювальних процедур, їх програмного забезпечення і комп'ютерної реалізації.

Зв'язок роботи з науковими програмами

Роботу виконано в рамках міжвузівської програми "Нафта і газ України" ("Наукові розробки нових технологій видобутку нафти і газу, газопромислового обладнання, поглибленої переробки нафти та газу з метою одержання високоякісних моторних палив, мастильних матеріалів, допоміжних продуктів і нафтохімічної сировини", № 37).

Мета наукового дослідження

Створення комп'ютерної технології дослідження напружень і деформацій кручення пружних стержнів довільного перерізу.

Задачі наукового дослідження

1. Побудувати алгоритм способу обертання симплексу (СОС) для дослідження стаціонарних фізичних полів.
2. Створити програмне забезпечення з метою комп'ютерної реалізації СОС.
3. Впровадити в інженерну практику нову формулу наближеного обчислення крутильної жорсткості для складних перерізів.
4. Побудувати довідкові таблиці геометричних жорсткостей фігур, що мають практичне використання.
5. Розробити методику двостороннього оцінювання геометричної жорсткості фігур складної конфігурації.
6. Дослідити явище роздвоєння максимуму поверхні напружень Прандтля для перетинів із перешийками.

Методи дослідження

Для розв'язання поставлених задач використані методи скінченних різниць, скінченних елементів, Монте-Карло. А також теорія броунівського руху, математичний апарат теорії ймовірностей, рівняння і методи математичної фізики.

Наукова новизна одержаних результатів

У роботі набули подальшого розвитку безсіткові методи усереднення граничних значень у задачах еліптичного типу. Запропонована методика використовує новий обчислювальний шаблон у формі трикутника (симплексу-елемента). Вдосконалена схема випадкових блукань звільняє від необхідності будувати решітку, а також моделювати багатокрокові зигзагоподібні блукання випадкової частини. У швидкому алгоритмі моделюється стрибок частинки безпосередньо в граничний вузол, завдяки чому суттєво прискорюються обчислення. Автором вперше отримані надійні двосторонні оцінки геометричної жорсткості складних фігур на основі гіпотези дифузійної плями. При цьому максимальна відносна похибка (навіть для неопуклих фігур) не перевищує 3 %. До нових результатів також відноситься комп'ютерне дослідження явища роздвоєння максимуму поверхні напружень Прандтля для перерізів із перешийками.

Практичне значення одержаних результатів

1. Запропоновано та обгрунтовано комп'ютерну технологію дослідження температурних полів в областях складної форми, ефективність якої підтверджено серією обчислювальних експериментів.

2. Розроблені рекомендації щодо практичного застосування прискорених алгоритмів дослідження напружень та деформацій кручення пружних стержнів довільного перерізу.

3. Для складних геометричних фігур, що мають практичне застосування, складені довідкові таблиці геометричних жорсткостей на основі прямих обчислень за новою наближеною формулою, а також за допомогою двостороннього оцінювання.

Практичну значущість результатів дисертаційної роботи відзначено у довідці, підписаній 03.09.1997 р. ректором Луцького індустріального інституту професором Божидарником В.В.

Алгоритми, програми, наближені формули і способи двостороннього оцінювання геометричних жорсткостей впроваджено в системах автоматизованого проектування ВАТ "Оріана" (м. Калущ, Івано-Франківської області, акт впровадження затверджений 17.04.1997 р. першим віце-президентом ВАТ "Оріана", доктором технічних наук, академіком НАН України Хабером М.В.). Методика, що запропонована автором, використовується в проектно-конструкторському відділі при розрахунках на міцність валів насосів, компресорів і перемішувачів пристроїв.

Методика комп'ютерного дослідження напружено-деформованого стану елементів металоконструкцій використовується відділом науково-обґрунтованого проектування УкрНДІГаз при розрахунках деформацій кручення бурильних колон. (Акт затверджений 03.09.1997 р. заступником директора з наукової роботи УкрНДІГаз, кандидатом технічних наук Буняком Б.Т.).

Створене математичне і програмне забезпечення підготовлено до передачі у відділ розробки і впровадження САПР УАС АТ "Укрнафта" (Начальник відділу, кандидат технічних наук Казанджан М.М.).

Результати дисертаційної роботи також використовуються в навчальному процесі ІФДТУНГ (лекції, курсове і дипломне проектування) при вивченні профілюючих дисциплін студентами спеціальностей 7.090202 — технологія машинобудування, 7.090217 — обладнання нафтових і газових промислів, 7.090308 — проектування, спорудження та експлуатація нафтогазопроводів і газонафтоховищ, 7.090309 — буріння нафтових і газових свердловин (довідку підписав 04.09.1997 р. начальник навчального відділу ІФДТУНГ доцент Сверида Б.В.).

Особистий внесок здобувача

1. Розроблені математичні моделі і написані ефективні та зручні у

користуванні комп'ютерні програми на мовах БЕЙСІК і ПАСКАЛЬ, що реалізують алгоритми способу обертання симплексу.

2. Розроблена і описана технологія комп'ютерної реалізації СОС на прикладах стаціонарної температурної задачі та задачах кручення стержнів складного перетину.

3. Узагальнено отримані результати на інші задачі еліптичного типу.

4. Виконаний значний обсяг обчислювальних експериментів з метою підтвердження досить високої точності нової наближеної формули по визначенню крутильної жорсткості складних фігур.

5. Побудовані двосторонні оцінки геометричної жорсткості для складних перетинів, а також показані способи покращення лівосторонніх оцінок для опуклих фігур та правосторонніх оцінок для неопуклих фігур.

6. Отримані перші результати експлуатації програмного модуля, що автоматизує процес побудови поверхонь напружень Прандтля для перетинів довільної геометрії.

7. Проведено дослідження та комп'ютерний аналіз явища роздвоєння максимуму поверхні напружень Прандтля для круга і квадрата з коловими виточками.

Постановка задач по темі дисертації належить науковому керівнику, доктору фізико-математичних наук, професору Хомченку А.Н.

Апробація результатів дисертації

Основні результати даної роботи доповідалися і обговорювалися на:

1. Науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу Івано-Франківського інституту нафти і газу (м. Івано-Франківськ, 1992, 1994 рр.) та науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу Івано-Франківського державного технічного університету нафти і газу (м. Івано-Франківськ, 1995, 1996, 1997 рр.).

2. Об'єднаному науковому семінарі кафедр вищої математики і математичного моделювання Херсонського індустріального інституту під керівництвом проф. Хомченка А.Н. (м. Херсон, листопад 1992 р.).

3. Засіданні наукового семінару кафедри вищої математики Івано-Франківського інституту нафти і газу під керівництвом доцента Горгулі В.І. (м. Івано-Франківськ, листопад 1992 р.).

4. Науковому семінарі 4.1 "Проблеми регіональних автоматизованих систем управління" Наукової Ради АН України по проблемі "Кібернетика" під керівництвом доктора економічних наук Матвеева М.Т., канд. фіз.-мат. наук Мельника І.М., канд. техн. наук Биченка М.М. (м. Київ, квітень 1993 р.).

5. Засіданні секції математики Західного наукового центру АН України у Прикарпатському університеті ім. Василя Стефаника (м. Івано-Франківськ, жовтень 1993 р.).

6. 1-й міжнародній конференції "Міцність і надійність конструкцій нафтогазового обладнання" (м. Івано-Франківськ, лютий 1994 р.).

7. Всеукраїнській науковій конференції "Розробка та застосування математичних методів в науково-технічних дослідженнях", присвяченій 70-річчю від дня народження проф. П.Є.Казимірського (м. Львів, жовтень 1995 р.).

8. Практично-методичному семінарі "Автоматизація технологічної підготовки виробництва" під керівництвом доц. Юрковського П.В. (м. Івано-Франківськ, жовтень 1995 р.).

9. Всеукраїнській школі-семінарі з математичного моделювання (Херсон-Лазурне, вересень 1996 р.).

Дисертація доповідалась у повному обсязі на:

1. Науковому семінарі кафедри прикладної математики і математичного моделювання Херсонського державного технічного університету під керівництвом д.ф.-м.н., професора Хомченка А.Н. (м. Херсон, червень 1997 р.).

2. Науковому семінарі кафедри прикладної математики Івано-Франківського державного технічного університету нафти і газу під керівництвом к.т.н., доцента Юрчишина В.М. (м. Івано-Франківськ, серпень 1997 р.).

3. Засіданні кафедри вищої математики Івано-Франківського державного технічного університету нафти і газу під керівництвом к.ф.-м.н., доцента Горгули В.І. (м. Івано-Франківськ, серпень 1997 р.).

4. Науковому семінарі кафедри програмного забезпечення ЕОМ Херсонського державного технічного університету під керівництвом д.т.н., професора Ходакова В.Є. (м. Херсон, вересень 1997 р.).

Публікації

За результатами наукових досліджень опубліковано 16 друкованих праць (3 статті у збірниках наукових праць, одна комп'ютерна програма передана у ФАП ІПС НАН України, 3 роботи депоновані, 9 статей у тезах конференцій), з них 6 праць без співавторства.

Структура і обсяг дисертаційної роботи

Дисертація складається з вступу, трьох розділів, загальних висновків, списку використаної літератури і трьох додатків. Повний обсяг дисертації 151 сторінка. Обсяг, що займають ілюстрації, таблиці, додатки (А, Б, В),

список використаних літературних джерел (202 найменування) складає 61 сторінку. Робота містить 56 рисунків і 12 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ

У вступі обґрунтовується актуальність теми, сформульовані мета і задачі дослідження, відбиті наукова новизна і практичне значення одержаних результатів, зазначено конкретний особистий внесок здобувача, поданий перелік основних наукових результатів, що виносяться на захист.

У першому розділі поданий огляд сучасних наближених методів машинного розв'язування задач, математичною основою яких є рівняння Лапласа або Пуассона. Приводяться приклади застосування МСР, МСЕ, методу Монте-Карло. Порівнюються переваги і недоліки вказаних методів з точки зору їх точності, швидкості збіжності та витрат машинного часу.

Запропонований принципово новий варіант методу Монте-Карло, у якому перехідні апостеріорні ймовірності в схемі випадкових блукань вперше замінені апіорними. Це призводить до суттєвого прискорення обчислень і досягається застосуванням спеціального обчислювального шаблону у формі симплекс-елемента. Вдале поєднання ймовірнісних ідей методу Монте-Карло і барицентричних координат симплексу звільняє від необхідності складати і розв'язувати великі системи лінійних алгебраїчних рівнянь. Традиційне нанесення сітки скінченних елементів на досліджувану область також стає не потрібним, досить передбачити обертання симплекса, який транслює граничну інформацію в досліджувану точку.

Обчислювальна процедура послідовного обертання симплекс-елемента реалізує процес блукання броунівської частинки. Шукані величини визначаються в формі середньої винагороди за вихід частинки в граничну вузлову точку.

Осереднення по методу Монте-Карло досягається за допомогою барицентричних координат симплексу. При цьому значення шуканої величини визначається як середнє арифметичне значень цієї величини, отриманої для кожного положення симплексу, наприклад, для трикутників (i_1, j_1, k_1) , (i_2, j_2, k_2) і т.д., тобто розглядається набір стоп-кадрів, що містять деяку точку A (рис. 1.1), в якій ми збираємось знайти наближений розв'язок рівняння Лапласа $\Delta U = 0$ за умови, що функція U на границі відома. Тоді методика отримання $U(A)$ така: для кожного певного положення трикутника маємо

$$U_n(A) = U_i \cdot \xi_i + U_j \cdot \xi_j + U_k \cdot \xi_k. \quad (1.1)$$

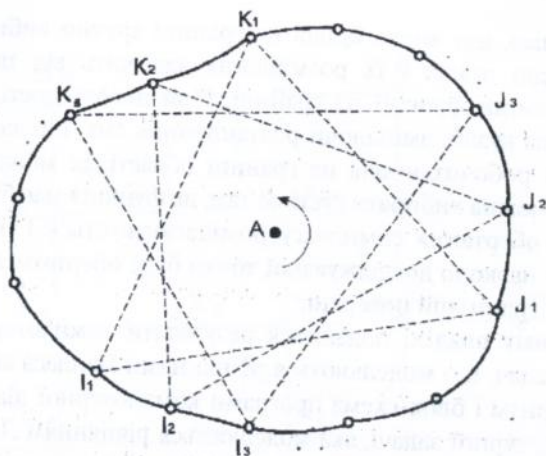


Рис. 1.1. Спосіб обертання симплексу

Тут ξ_i, ξ_j, ξ_k — барицентричні координати або геометричні ймовірності, які визначаються як відношення відповідних площ

$$\xi_i = \frac{\text{mes } \Omega_i}{\text{mes } \Omega}, \quad (1.2)$$

де

$$\text{mes } \Omega = \frac{1}{2} \begin{vmatrix} 1 & X_i & Y_i \\ 1 & X_j & Y_j \\ 1 & X_k & Y_k \end{vmatrix}, \quad \text{mes } \Omega_i = \frac{1}{2} \begin{vmatrix} 1 & X_A & Y_A \\ 1 & X_j & Y_j \\ 1 & X_k & Y_k \end{vmatrix},$$

а $(X_i, Y_i), (X_j, Y_j), (X_k, Y_k)$ — координати досліджуваної точки всередині області Ω . Остаточний розв'язок в точці A визначається як середнє арифметичне всіх значень $U_n(A)$

$$U(A) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N U_n(A), \quad (1.3)$$

де N — число "стоп-кадрів".

Зауважимо, що число вузлів на границі зручно вибирати кратне трьом. Взагалі число вузлів і їх розміщення залежить від потрібної точності і швидкості зміни функції на границі. При необхідності можна зафіксувати один або два вузли, змінюючи розташування тих, що залишилися. Зокрема, при виборі робочих вузлів на границі області, їх можна розміщувати рівномірно, а можна вибирати густіше там, де функція має більші градієнти.

Спосіб обертання симплексу розповсюджується і на просторові задачі. При цьому навколо досліджуваної точки буде обертатися тетраедр з чотирма вузлами на граничній поверхні.

У другому розділі подаються результати комп'ютерної реалізації СОС стосовно задач, що моделюються рівняннями Лапласа або Пуассона. Описується алгоритм і блок-схема програми комп'ютерної діагностики стаціонарної температурної задачі, яка моделюється рівнянням Лапласа, та її комп'ютерна реалізація на ПЕОМ типу ІВМ РС, а також подані результати комп'ютерного аналізу стаціонарного температурного поля в квадратній пластині. Числові значення температур порівнюються з результатами обчислень, отриманими за допомогою альтернативних методів. Показано, як можна застосувати СОС до розв'язування задачі, пов'язаної з дослідженням температурного поля при наявності джерела (стоку).

Описано алгоритм, блок-схему програми і технологію комп'ютерної реалізації задач, що моделюються рівнянням Пуассона в довільній області методом прискорених статистичних випробувань на прикладі задачі кручення стержня складного перетину (див. рис. 2.1).

Розв'язком такої задачі є функція напружень Прандтля, яка задовільняє рівнянню Пуассона

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} = -2G\theta \quad (2.1)$$

і приймає на контурі постійне значення, причому для однозв'язної області її значення на контурі можна вважати рівним нулю. В рівнянні (2.1) позначимо G — модуль пружності при зсуві; θ — відносний кут закручування.

За допомогою нової функції

$$\psi = \varphi - \frac{1}{4} \left[-2 G \theta (x^2 + y^2) \right] \quad (2.2)$$

поставлена задача зводиться до задачі Діріхле для рівняння Лапласа з неоднорідними умовами на границі

$$\Delta \psi = 0, \quad (2.3)$$

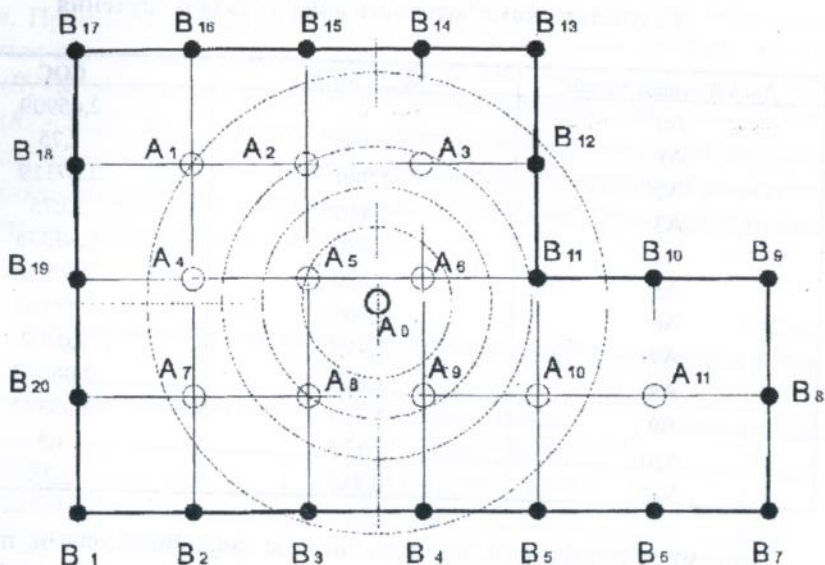


Рис. 2.1. Форма поперечного перетину і розрахункові точки в СОС

$$\psi/\Gamma = \frac{1}{2} (x^2 + y^2) G \theta. \quad (2.4)$$

Визначивши за допомогою СОС значення функції ψ у будь-якій досліджуваній точці А, здійснимо перехід до функції φ за формулою (2.2), тобто

$$\varphi(A) = \psi(A) - \frac{1}{2} (x_A^2 + y_A^2) \cdot G \theta \quad (2.5)$$

Результати комп'ютерного аналізу подані в порівнянні таблиці 2.1.

Порівняння результатів обчислень по СОС і отриманих альтернативними методами дало підставу зробити наступні основні висновки: СОС визначає значення функції напружень для будь-якої кількості довільно розміщених точок, або в окремій точці; числові результати знаходяться у строгій відповідності з мембранною аналогією Прандтля. Відзначено, що процедури підготовки і введення інформації настільки прості, що для їх виконання не потрібно спеціальних знань.

Результати комп'ютерного аналізу задачі кручення

Досліджувані точки	MCP, MCE	COС
A0	-	2,65909
A1	1,390	1,75
A2	1,780	1,87119
A3	1,410	1,875
A4	1,780	1,83333
A5	2,320	2,46968
A6	1,860	2,55167
A7	1,410	2,0202
A8	1,860	2,06817
A9	1,710	2,33332
A10	1,123	1,5
A11	0,781	1,25

У цьому ж розділі розглядається гіпотеза дифузійної плями, просторо-во-часовий механізм блукання, встановлюється дифузійне тлумачення мембранної аналогії. Побудована наближена формула, що виражає крутильну жорсткість стержня через максимальну аплікату поверхні Прандтля і площу перетину. Результати комп'ютерного обчислення геометричної жорсткості для окремих фігур подані у порівняльній таблиці 2.2.

Таблиця 2.2

Результати комп'ютерного обчислення геометричної жорсткості

Форма поперечного перетину	Геометрична жорсткість J_T		Відносна похибка (%)
	Табличне значення	$J_T = U_{\max} \cdot S_{\text{пер}}$	
Круг	1,5708	1,5708	0
Квадрат	2,2496	2,245	0,2
Восьмикутник (прав.)	1,728	1,718	0,6
Трикутник (правильн.)	3,1177	3,1436	0,8
Прямокутник (a : b = 1,5)	4,704	4,6619	0,9
Шестикутник (правильн.)	1,84	1,82	1,0
Еліпс (a : b = 1,5)	3,2624	3,2022	1,8
Прямокутник (a : b = 2)	7,3184	7,1169	2,74

Характерною спроможністю СОС є те, що він здатний давати інтервальні оцінки. Цей факт теж пов'язаний з використанням гіпотези дифузійної плями. Проводячи подвійний розрахунок з граничними точками, які отримуються при перетині області спочатку колом мінімального радіуса блукання $R_1 (R_1 = R \text{ дотичного кола})$, а потім колом максимального радіуса блукання $R_2 (R_2 = R_{\text{екв.}})$, $R_{\text{екв.}}$ — радіус круга, площа якого рівна площі досліджуваної області), ми отримаємо двосторонню оцінку геометричної жорсткості J_T у вигляді інтервалу, що накриває шуканий розв'язок. Приклади побудови двосторонніх оцінок подані у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3

Двосторонні оцінки геометричної жорсткості для окремих фігур

Форма поперечного перетину	Двостороння оцінка $J_T(R_1) < J_T(\text{фіг.}) < J_T(R_2)$	Відносна похибка в %
Квадрат	2,0578 < 2,2496 < 2,5465	2,4
Трикутник (рівносторон.)	2,934 < 3,1177 < 3,2748	0,4
Шестикутник (правильний)	1,7404 < 1,84 < 1,9099	0,8
Восьмикутник (правильний)	1,7034 < 1,728 < 1,7476	0,1
Тавр	52,6202 < 55,104 < 56,5470	0,9
Двотавр	48,6933 < 55,904 < 64,4008	1,2
Рівнобоковий кутник	1,5708 < 32,6187 < 63,1742	0,8
Швелер	0,0256 < 1,946 < 3,9218	1,4

У третьому розділі розглядаються аналогії при крученні та обґрунтовується можливість розповсюдження викладених у дисертації ідей на широкий клас подібних задач еліптичного типу, що виникають в інших дисциплінах.

Зазначено, що реалізація мембранної аналогії, обґрунтованої і розробленої у 1904 році видатним німецьким вченим-механіком Людвігом Прандтлем, надала можливість експериментально вивчати напружений стан стержнів, на форму контура яких не накладаються жодні обмеження.

Просторовий графік функції напружень Прандтля ("горб напружень") характерний тим, що його горизонталі є траєкторіями дотичних напружень, а нахил поверхні "горба напружень" пропорційний величині дотичних напружень. Наявність такого графіка дає змогу скласти наочне уявлення про характер функції напружень та зробити важливі висновки стосовно розподілу напружень у поперечному перетині скрученого стержня.

У зв'язку з цим виникла ідея комп'ютерної побудови поверхонь напру-

жень Прандтля, яка описана як реалізація двох етапів. На першому етапі, згідно з геометрією поперечного перерізу, проводиться обчислення значень функції напружень для наперед визначеної кількості точок досліджуваної області. Розрахунки здійснюються сформованою на мові високого рівня ПАСКАЛЬ програмою розв'язування рівняння Пуассона у довільній області методом прискорених статистичних випробувань. На другому етапі виконуються графічні роботи за допомогою пакета програм AutoCAD, який є одним із найпотужніших засобів автоматизації графічних робіт. Отримані перші результати експлуатації програмного модуля, що автоматизує процес побудови поверхонь напружень Прандтля для перетинів довільної геометрії. Наводяться приклади комп'ютерної побудови поверхонь напружень Прандтля для круга, квадрата та перетину складної форми. При цьому, для визначення дотичних напружень у будь-якій точці використовується геометричний підхід (спосіб перетинів).

У цьому ж розділі досліджується цікаве явище роздвоєння максимуму поверхні Прандтля для перетинів із перешийками. Подаються результати комп'ютерного аналізу для круга і квадрата з коловими виточками.

Розглянемо область, зображену на рис. 3.1, яка складається з одиничного круга (із центром у початку координат, від якого відкинута область, утворені при проведенні з точок $B_{1(-1,0)}$ і $B_{2(1,0)}$ на межі круга кіл радіусом R_B . Значення R_B будемо надавати з кроком $\Delta R_B = 0.05$ починаючи з $R_B = 0.05$. Одночасно із зміною R_B будемо слідкувати за зміною значень функції напружень Прандтля у точках A_1, A_2, \dots, A_{21} (у зв'язку із симетрією розглядуваної області відносно осі O_x , до уваги беремо тільки верхню половину круга).

Аналіз значень функції напружень у точках A_1, A_2, \dots, A_{41} у процесі зміни радіуса колових виточок R_B показує, що для даної кругової області із діаметрально розміщеними коловими виточками (див. рис. 3.1) роздвоєння максимуму "горба напружень" починається при $R_B > 0.2$, зокрема, при $R_B = 0.25$ максимальне значення отримують точки A_{18} і A_{24} : $U_{\max} = U(A_{18}) = U(A_{24}) = 0.3792981$. Різниця значень U_{\max} і $U(A_{21})$, при цьому, становить $U_{\max} - U(A_{21}) = 0.0018468$. Подальші дослідження показали, що максимальні значення U_{\max} переміщуються спочатку у точки A_{14} і A_{28} ($0.35 < R_B \leq 0.50$), а потім у точки A_{12} і A_{30} ($0.5 < R_B \leq 0.7$). Зокрема, при $R_B = 0.7$ значення $U_{\max} = U(A_{12}) = U(A_{30}) = 0.2467271$, а $U(A_{21}) = 0.1999614$. Різниця U_{\max} і $U(A_{21})$ рівна 0.0467657 .

На рис. 3.1 також відзначені місця виникнення точок A із максимальним дотичним напруженням у випадках $R_B = 0.25, 0.5, 0.65$.

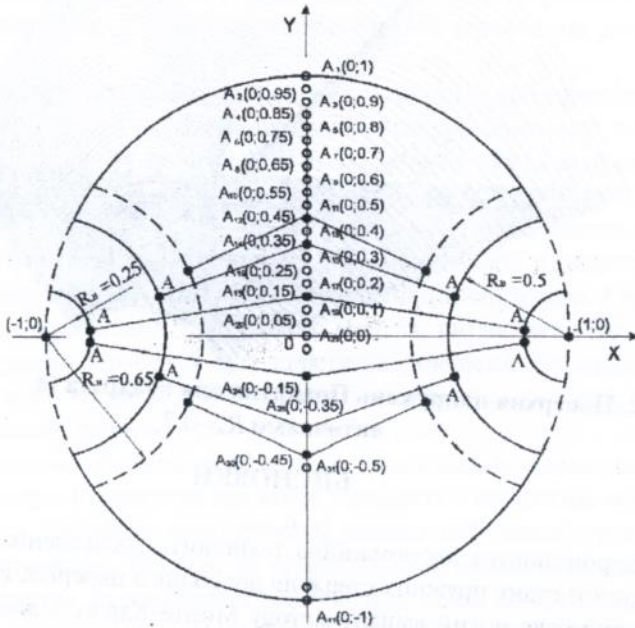


Рис. 3.1. Кругова область із коловими виточками радіуса R_B

Аналогічні комп'ютерні дослідження явища роздвоєння максимуму поверхні напружень Прандтля при крученні ми провели для квадратного перетину зі стороною $a = 2$. На рис. 3.2 зображено просторовий графік поверхні Прандтля для квадрата із коловими виточками $R_B = 0.7$.

Як бачимо, наші комп'ютерні результати підтверджують дослідження Сен-Венана, Файлона та багатьох інших видатних вчених стосовно виникнення та місцезнаходження точок із максимальним дотичним напруженням для перетинів із перешийками. Крім того, наявні сучасні графічні засоби дають змогу візуально спостерігати за появою небезпечних ділянок на межі досліджуваної області.

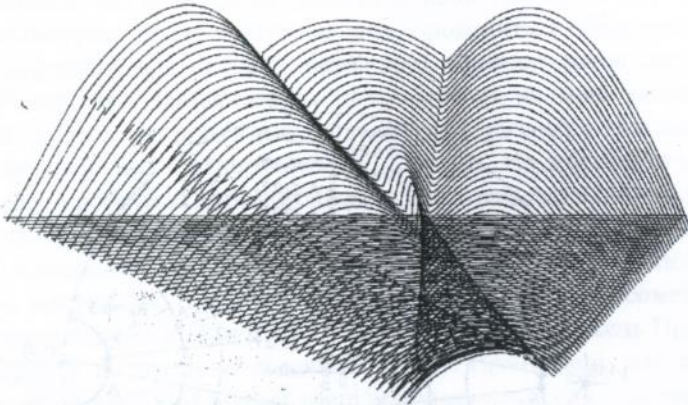


Рис. 3.2. Поверхня напружень Прандтля для квадрата ($a = 2$) з коловими виточками $R_B = 0.7$

ВИСНОВКИ

1. Запропонована інформаційна технологія дослідження напружено-деформованого стану пружних стержнів довільного перерізу. Ефективний підхід використовує новий варіант методу Монте-Карло, в якому апостеріорні перехідні ймовірності у схемі випадкових блукань вперше замінені апріорними. Це призводить до суттєвого прискорення обчислень і досягається застосуванням спеціального обчислювального шаблону у формі симплексу-елемента. Вдале поєднання ймовірнісних ідей методу Монте-Карло і барицентричних координат симплексу звільняє від необхідності складати і розв'язувати великі системи лінійних алгебраїчних рівнянь. Традиційне нанесення сітки скінченних елементів на досліджувану область також стає не потрібним, досить передбачити обертання симплекса, який транслює граничну інформацію у досліджувану точку.

2. Розроблені математичні моделі і написані ефективні та зручні у користуванні, комп'ютерні програми на алгоритмічних мовах БЕЙСІК і ПАСКАЛЬ, що реалізують алгоритми способу обертання симплексу.

3. Розроблена і описана технологія комп'ютерної реалізації СОС на прикладах стаціонарної температурної задачі та задачах кручення пружних стержнів складного перетину.

4. Гіпотеза дифузійної плями дала змогу розробити і застосувати стратегію малої вибірки стосовно робочих вузлів на межі досліджуваної області з метою оптимізації обчислень. З гіпотезою дифузійної плями пов'язана побу-

дова простих і надійних двосторонніх оцінок геометричної жорсткості в областях загального виду. Крім того, з допомогою цієї гіпотези отримана проста наближена формула для обчислення крутильної жорсткості стержнів довільного перетину, а також спрощений спосіб визначення дотичних напружень.

5. Розглянуті аналогії при крученні. Зазначено, що практична реалізація мембранної аналогії надає можливість експериментально вивчати напружений стан стержнів, на форму контура яких не накладаються жодні обмеження.

6. Запропонований принцип комп'ютерного моделювання поверхонь напружень Прандтля з метою отримання можливості візуального спостереження на екрані дисплея за характером функції напружень. Отримані перші результати експлуатації програмного модуля, що автоматизує процес побудови поверхонь Прандтля для перетинів довільної геометрії. Наводяться приклади комп'ютерної побудови таких поверхонь для круга, квадрата і перетину складної форми.

7. Проведено дослідження і комп'ютерний аналіз явища роздвоєння максимуму поверхні Прандтля для круга і квадрата з коловими виточками змінного радіуса. Засобами комп'ютерної техніки побудовані просторові графіки таких поверхонь. Вперше на екрані дисплея можна візуально спостерігати за процесом переміщення небезпечних точок на контурі досліджуваної області та роздвоєнням і переміщенням максимуму поверхні Прандтля.

8. Обгрунтована реальна можливість розповсюдження викладених у даній дисертації ідей на широкий клас подібних задач еліптичного типу, що виникають у інших дисциплінах.

9. Розроблена в ХДТУ і ІФДТУНГ методика комп'ютерного дослідження напружено-деформованого стану елементів металоконструкцій може використовуватись при розрахунках на міцність елементів машин, апаратів, конструкцій і споруд, що знаходяться під впливом зовнішніх сил і теплових процесів.

ОСНОВНІ ПУБЛІКАЦІЇ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Камаєва Л.І., Сенічак В.М., Хомченко А.Н. Метод контрольних об'ємів для чисельного дослідження теплових полів підземних трубопроводів // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. — Івано-Франківськ, 1993. Вип. 30. — с. 135-139.

2. Сенічак В.М. Комп'ютерна діагностика температурних полів в обла-

стях складної форми. Математическое моделирование. Сб. науч. тр./НАН України. Ін-т математики. — Київ, 1996. — С. 209-212.

3. Сенічак В.М., Хомченко А.Н. Програма рішення рівняння Пуассона в произвольной області методом ускорених статистических испытаний // Фонд алгоритмов и программ ИПС АН України. — Київ, июнь 1993. — Инв. N П6412.

4. Камаева Л.И., Сенічак В.М., Хомченко А.Н. Ускоренные алгоритмы метода Монте-Карло решения задач Дирихле для уравнения Пуассона. Ивано-Франк. ин-т нефти и газа. — Ивано-Франковск, 1992. — 24 с. Деп. в УкрИНТЭИ 28.07.92., N 1163-Ук92.

5. Сенічак В.М. Числові дослідження явища роздвоєння максимуму функції Прандтля //Наук.-техн.конф.проф.-викл. складу інституту нафти і газу: Тези доп. — Івано-Франківськ, травень 1994 — с. 213-214.

6. Сенічак В.М. Алгоритм і програма побудови поверхні Прандтля засобами комп'ютерної графіки // Наук.-техн.конф.проф.-викл. складу Івано-Франківського державного технічного університету нафти і газу: Тези доп. — Івано-Франківськ, травень 1995. — с. 71.

7. Сенічак В.М., Хомченко А.Н. Сучасні підходи до задач кручення стержнів складного перетину //Розробка та застосування математичних методів в науково-технічних дослідженнях: Тези доп. Всеукраїнської наук. конференції, присв. 70-річчю від дня нар. проф. П.Є.Казимірського. — Львів, 4-7 жовтня 1995.Ч.3. — с. 67.

8. Сенічак В.М. Побудова двосторонньої оцінки геометричної жорсткості стержнів довільного перетину //Наук.-техн. конф. проф.-викл. складу Івано-Франківського державного технічного університету нафти і газу: Тези доп.— Івано-Франківськ, травень 1997. — Ч. 2. С. 25.

9. Сенічак В.М., Хомченко А.Н. Алгоритм чисельного визначення крутильної жорсткості стержня довільного перерізу //Наук.-техн. конф. проф.-викл. складу Івано-Франківського державного технічного університету нафти і газу: Тези доп. — Івано-Франківськ, травень 1997. — Ч. 2. С. 26.

Сеничак В.М. Прискорені алгоритми і програми чисельного розв'язування задач кручення пружних стержнів довільного перерізу. — Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 — автоматизовані системи управління і прогресивні інформаційні технології. — Херсонський державний технічний університет, Херсон, 1997.

Дисертація присвячена розробці математичного і програмного забезпечення прискорених алгоритмів (типу методу Монте-Карло) для комп'ютерного дослідження напружень і деформацій кручення пружних стержнів довільного перерізу. В роботі отримав розвиток новий підхід до розв'язання крайових задач еліптичного типу, що поєднує ідеї методу Монте-Карло з технікою скінченних симплекс-елементів. Встановлено, що прискорені алгоритми розв'язання задач кручення вивільнюють обчислювальний процес від громіздких процедур нанесення сітки на досліджувану область та складання і розв'язування великих систем лінійних алгебраїчних рівнянь. Серія обчислювальних експериментів підтверджує високу точність нової спрощеної формули для наближеного обчислення крутильної жорсткості складних фігур. Запропоновані інженерні способи двостороннього оцінювання геометричних жорсткостей для стержнів складних перетинів. Реалізована програма комп'ютерного дослідження явища роздвоєння максимуму поверхні напружень для перетинів з перешийками. Основні результати роботи знайшли промислове застосування в системах автоматизованого проектування бурильних колон, валів насосів, компресорів і перемішувачів пристроїв.

Ключові слова: математичне моделювання, чисельні методи, метод Монте-Карло, задачі еліптичного типу, скінченний симплекс-елемент, крутильна жорсткість.

Сеничак В.М. Ускоренные алгоритмы и программы численного решения задач кручения упругих стержней произвольного сечения. — Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 — автоматизированные системы управления и прогрессивные информационные технологии. — Херсонский государственный технический университет, Херсон, 1997.

Диссертация посвящена разработке математического и программного обеспечения ускоренных алгоритмов (типа метода Монте-Карло) для компьютерного исследования напряжений и деформаций кручения упругих стержней произвольного сечения. В работе развивается новый подход к решению граничных задач эллиптического типа, сочетающий идеи метода Монте-Карло и техники конечных симплекс-элементов. Установлено, что ускоренные алгоритмы упругих стержней освобождают вычислительный процесс от процедуры нанесения сетки на исследуемую область, составления и решения больших систем линейных алгебраических уравнений. Серия вычислительных экспериментов подтверждает высокую точность новой упрощенной формулы для приближенного вычисления крутильной жесткости сложных фигур. Предложены инженерные способы двусторонних оценок геометрической жесткости для стержней сложных сечений. Реализована программа компьютерного исследования явления раздвоения максимума поверхности напряжений для сечений с перешейками. Основные результаты работы нашли промышленное применение в системах автоматизированного проектирования бурильных колонн, валов насосов, компрессоров и перемешивающих устройств.

Ключевые слова: математическое моделирование, численные методы, метод Монте-Карло, задачи эллиптического типа, конечный симплекс-элемент, крутильная жесткость.

Senychak V.M. Accelerated algorithms and programs for solutions of tasks of stresses and torsion of elastic rods of different cross-sections. - Manuscript.

Dissertation for getting the master's degree (the Candidate of Sciences Eng.) in speciality 05.13.06 - Automated Control Systems and Advanced Suformational Technologies. - Kherson State Technical University, Kherson, 1997.

The dissertation deals with the development of the computer programs for the accelerated algorithms (of the Monte-Karlo type) for the computer-simulated study of stresses and torsion of elastic rods of different cross-sections. The new approach to the boundary problems of the elliptic type that combines the Monte-Karlo method with the technique of finite simplex elements is introduced. It is determined that the accelerated algorithms make the procedure of dividing the studied area into the network and working out big system of algebraic equations unnecessary. The series of the computational experiments showed the high pre-

cision of the new simplified formula for the approximate determination of the torsion hardness of complicated bodies. The engineering methods of double-sided approximations of the geometrical hardness for the rods of different cross-sections are proposed. The program of computer-aided investigation of the splitting of maximum of tension surface for the cross-sections with the isthmuses is introduced. The main results of the dissertation are applied in the systems of automated projecting of drilling string, shafts pumps, compressors and stirring devices.

Key words: mathematical modelling, numerical methods, Monte-Karlo method, elliptic type problems, finite simplex-method, torsion hardness.

A handwritten signature in black ink, consisting of a stylized initial 'B' followed by several horizontal strokes.

Підписано до друку 25.09.97 Формат паперу 60×84 1/16
Друк аркуші 1.0 Тираж 100 Зам. 195
Відруковано на різнографі

ДОП Івано-Франківського державного технічного університету
нафти і газу
284018, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15

43429-

AB 38.574