

622.69  
0-53

Андрій Олійник

# Математичні моделі процесу квазістаціонарного деформування трубопровідних та промислових систем при зміні їх просторової конфігурації

$$\frac{d^2 v}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dv}{dr} = 0$$

Івано-Франківськ  
2010

ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ  
ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ

А. П. Олійник

**МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ПРОЦЕСУ КВАЗІСТАЦІОНАРНОГО  
ДЕФОРМУВАННЯ ТРУБОПРОВІДНИХ ТА ПРОМИСЛОВИХ  
СИСТЕМ ПРИ ЗМІНІ ЇХ ПРОСТОРОВОЇ КОНФІГУРАЦІЇ.**

*Монографія*

Івано-Франківськ

2010

ББК 22.18+39.7  
УДК 622.692.4:519.876.5  
054

**Олійник А. П.**

Математичні моделі процесу квазістаціонарного деформування трубопровідних та промислових систем при зміні їх просторової конфігурації: Наукове видання. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2010. – 320 с.

**ISBN 978-966-694-132-2**

Розглянуті питання математичного моделювання процесу квазістаціонарного деформування та напруженого стану трубопровідних та промислових систем при зміні їх просторового положення з використанням спеціально обраних систем координат. Некоректна задача відновлення напружено-деформованого стану за неповною інформацією про переміщення точок області розв'язується шляхом побудови регуляризованих алгоритмів на базі апарату інтерполяційних згладжуваних сплайнів з обґрунтованим вибором параметрів згладжування, які дозволяють побудувати функції, що описують тривимірні переміщення точок області, тензори деформацій та напружень. Для задачі моделювання процесів деформування перерізів трубопроводів та фундаментних плит промислових споруд одержано аналітичне розв'язання на основі реалізації напівоберненого методу. Адекватність розроблених моделей перевіряється методами імітаційного моделювання. На основі розроблених моделей проведено дослідження та розрахунки напруженого стану трубопровідних та промислових систем, які тривалий час експлуатуються в складних умовах.

Для наукових, інженерно-технічних працівників і аспірантів, які займаються питаннями діагностування технічного стану широкого класу трубопровідних та промислових систем та забезпечення їх працездатності.

Рекомендовано до друку Вченою радою ІФНТУНГ (протокол № 10/495 від «03» грудня 2010 р).

**Рецензенти:** *Дубовой В. М.*, д-р техн. наук, професор, Вінницький національний технічний університет;  
*Мойсишин В. М.*, д-р техн. наук, професор, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу;  
*Адасовський Б. І.*, д-р техн. наук, професор кафедри АПЕПС ТЕФ, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут».

© ІФНТУНГ, 2010

© Олійник А. П., 2010

ISBN 978-966-694-132-2

## З М І С Т

<b>СПИСОК СКОРОЧЕНЬ ТА ПОЗНАЧЕНЬ</b>	6
<b>ВСТУП</b>	8
<b>РОЗДІЛ 1: ОЦІНКА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЙ ПРОМИСЛОВИХ ТА ТРУБОПРОВІДНИХ СИСТЕМ ЗА ДАНИМИ ПРО ЗМІНУ ЇХ ПРОСТОРОВОЇ КОНФІГУРАЦІЇ</b>	14
1.1 Особливості промислових об'єктів та трубопровідних систем з точки зору моделювання їх напруженого стану та процесу деформації	14
1.2 Вибір системи координат в задачах моделювання процесу деформування промислових та трубопровідних систем	23
1.3 Методи вимірювання переміщень в задачах моделювання процесу деформування та напруженого стану промислових та трубопровідних систем	28
1.4 Обґрунтування і вибір напрямку досліджень	34
<b>РОЗДІЛ 2: ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ МЕТОДІВ МАТЕМАТИЧНО-ГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ДЕФОРМУВАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ТА ТРУБОПРОВІДНИХ СИСТЕМ ЗІ ЗМІННОЮ ПРОМИСЛОВОЮ КОНФІГУРАЦІЄЮ</b>	39
2.1 Аналіз моделей просторового деформування тіл за відомою інформацією про переміщення певної множини точок поверхні	39
2.2 Використання інтерполяційних та апроксимаційних процедур для визначення конфігурації деформованої осі та поверхні промислових та трубопровідних систем в процесі експлуатації та ремонту	51
2.3 Оцінка точності наближеного розв'язку задачі відновлення просторового положення осі квазіциліндричного тіла за відомими переміщеннями певної множини її точок з використанням різних способів апроксимації осі	83
2.4 Особливості моделювання процесу деформування тороподібних ділянок трубопроводів	96
2.5 Висновки до розділу 2	113

**РОЗДІЛ 3. МЕТОДИ ОЦІНКИ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ ПРО-  
МИСЛОВИХ ТА ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ З ВИКОРИСТАННЯМ  
РОЗРОБ-ЛЕНОЇ МОДЕЛІ ПРОЦЕСУ ЇХ ДЕФОРМУВАННЯ** 115

- 3.1 Способи регуляризації некоректної задачі оцінки компо-  
нент тензора напружень за відомими переміщеннями  
певної множини точок досліджуваного тіла 115
- 3.2 Використання методів зважених нев'язок для розв'язання  
задачі контролю напружено-деформованого стану відкри-  
тих ділянок трубопроводу 122
- 3.3 Принципи побудови функцій геометрії досліджуваного тіла  
при різних типах початкової інформації про переміщення  
точок її поверхні та оцінка діючих напружень 136
- 3.4 Математичні моделі розрахунку напружено-деформа-  
ваного стану досліджуваних тіл за даними про переміщення  
точок їх внутрішньої та зовнішньої поверхонь на основі  
напівоберненого методу 148
- 3.5 Особливості моделювання процесу деформування та  
напруженого стану циліндричних тіл з поверхневими  
дефектами 170
- 3.6 Висновки до розділу 3 185

**РОЗДІЛ 4. АПРОБАЦІЯ РОЗРОБЛЕНИХ МЕТОДІВ ОЦІНКИ  
НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ТРУБОПРОВІДІВ З  
ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДІВ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ** 187

- 4.1 Імітаційне моделювання в задачах технічної діагностики,  
як засіб заміни фізичного експерименту чисельним 187
- 4.2 Оцінка точності відтворення просторового положення  
досліджуваних ділянок трубопровідних систем 193
- 4.3 Оцінка точності відтворення осі відкритих ділянок  
трубопроводів за даними геодезичних вимірювань 206
- 4.4 Вибір параметрів згладжування в задачах оцінки напруже-  
нодеформованого стану трубопровідних систем на основі  
аналізу експериментально-теоретичних даних 215
- 4.5 Висновки до розділу 4 221

**РОЗДІЛ 5. РОЗРОБКА ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ТА МЕТО-  
ДИКИ ОЦІНКИ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ВІД-  
КРИТИХ ДІЛЯНОК ТРУБОПРОВІДІВ** 223

- 5.1 Інформаційно-вимірювальна система для оцінки  
просторового характеру процесу деформування  
трубопроводів різного призначення 223
- 5.2 Методика збору та обробки первинної інформації про  
переміщення точок поверхні досліджуваних ділянок

трубопроводу з використанням експериментальних методів	238
5.3 Вибір моделі процесу деформування квазіпрямолінійних ділянок трубопроводу з урахуванням відсутності характерних діючих силових факторів різної природи	244
5.4 Методика оцінки напружено-деформованого стану досліджуваних ділянок трубопроводів при відомих їх геометричних характеристиках та способах навантаження в процесі експлуатації та ремонту	264
5.5 Результати апробації методики оцінки напружено-деформованого стану в умовах діючого трубопроводу при проведенні дослідницьких, ремонтних та профілактичних робіт	274
5.6 Висновки до розділу 5	287

<b>ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ВИКОРИСТАННЯ ОДЕРЖАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ ДЛЯ ПОБУДОВИ МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕСУ ДЕФОРМУВАННЯ ТА НАПРУЖЕНОГО СТАНУ З МЕТОЮ ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ ДОСЛІДЖУВАНИХ СИСТЕМ</b>	290
---	-----

<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</b>	294
-----------------------------------	-----