



**Міністерство України з питань надзвичайних ситуацій  
та у справах захисту населення від наслідків  
Чорнобильської катастрофи**

**Академія пожежної безпеки  
імені Героїв Чорнобиля**

*№4'2009*

***ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА:  
ТЕОРІЯ І ПРАКТИКА***

---

*Збірник наукових праць*

***Редакційна колегія:***

д-р техн. наук, професор *Осипенко В.І.* – головний редактор  
д-р техн. наук, професор *Жартовський В.М.* – заступник головного редактора  
канд. техн. наук, доцент *Поздєєв С.В.* – відповідальний секретар  
д-р техн. наук., професор *Ващенко В.А.*  
д-р техн. наук, професор *Захматов В.Д.*  
д-р техн. наук, професор *Круковський П.Г.*  
д-р техн. наук, професор *Мусієнко М.П.*  
д-р військ.наук, професор *Мосов С.П.*  
д-р психол.наук, професор *Грибенюк Г.С.*  
д-р психол.наук, професор *Охременко О.Р.*  
д-р екон.наук, професор *Качала Т.М.*  
д-р філос.наук, доцент *Тур М.Г.*  
д-р філос.наук, професор *Говорун Д.І.*

***Рекомендовано до видання  
Вченою радою Академії пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля  
(Протокол № 3 від 27.11.09 р. )***

***Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації  
Серія КВ № 13745-2719 Р, видане Міністерством юстиції України 18.03.08 р.***

***Включено ВАК до переліку фахових видань в галузі технічних наук, в яких можуть  
публікуватись результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора  
і кандидата наук (Постанова ВАК від 27 травня 2009 року № 1-05/2)***

За точність наведених фактів, а також за використання відомостей, що не рекомендовані до відкритої публікації, відповідальність несуть автори опублікованих матеріалів.  
При передрукуванні посилання на збірник «Пожежна безпека: теорія і практика» обов'язкове.

## ЗМІСТ

<i>Бабіч О.В., Барчан О.О., Муравйов С.Д.</i> ПРИНЦИП ПОБУДОВИ СИСТЕМ БЕЗПЕКИ ДЛЯ ЗЕРНОВОЇ ІНДУСТРІЇ.....	5
<i>Байтала М.Р.</i> МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПОЖЕЖИ НАФТОПРОДУКТУ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ.....	10
<i>Биков В.І., Цікановський В.Л.</i> ОКРЕМІ РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРОБКИ ПЕРЕНОСНОГО ВОГНЕГАСНИКА КАТАПУЛЬТНОГО ТИПУ .....	14
<i>Боровиков В.О., Чеповський В.О., Ромащенко О.А.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ “СПИРТОСТІЙКИХ” ПІНОУТВОРЮВАЧІВ ПІД ЧАС ГАСІННЯ ПОЛЯРНИХ ГОРЮЧИХ РІДИН ПІНОЮ НИЗЬКОЇ КРАТНОСТІ .....	17
<i>Бут В.П., Вареник В.В., Кришталь М.А.</i> ФОРМУВАННЯ ПРОФЕСІЙНО ВАЖЛИВИХ ЯКОСТЕЙ ГАЗОДИМОЗАХИСНИКІВ-РЯТУВАЛЬНИКІВ МНС УКРАЇНИ.....	25
<i>Бут В.П., Кришталь М.А., Левченко А.Д., Левченко Д.Є., Кришталь В.М., Землянський О.М., Биков О.М.</i> ЗНИЩЕННЯ БОЙОВИХ ОТРУЙНИХ РЕЧОВИН В НЕВЕЛИКІЙ КІЛЬКОСТІ ПРИ ПРОВЕДЕННІ РОБІТ З ЛІКВІДАЦІЇ АВАРІЙ.....	33
<i>Виноградов А.Г.</i> МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ПРОСТОРОВОГО РОЗПОДІЛУ КОНЦЕНТРАЦІЙ КРАПЕЛЬ ВОДЯНОЇ ЗАВІСИ .....	38
<i>Виноградов А.Г., Баракін О.Г., Зіновський Р.А.</i> РОЗРАХУНОК ТЕПЛОВОГО РЕЖИМУ ІЗОЛЬОВАНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПРОВІДНИКІВ .....	45
<i>Зайвий В.В.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК АНТЕНО-ФІДЕРНИХ ПРИСТРОЇВ СИСТЕМИ РАДІОЗВ’ЯЗКУ ОПЕРАТИВНО- РЯТУВАЛЬНОЇ СЛУЖБИ.....	50
<i>Зайвий В.В.</i> СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ ОБЛАСТІ КОМПРОМІСУ МІЖ БЕЗПЕКОЮ ТА ВАРТІСТЮ ЖИТЛА .....	56
<i>Кириченко О.В., Заїка П.І., Цибулін В.В., Ващенко В.А.</i> АНАЛІЗ РЕАКЦІЙ, ЩО ПРОТІКАЮТЬ У КОНДЕНСОВАНІЙ ФАЗІ ТА ПОЛУМ’І ПРИ ГОРІННІ ПІРОТЕХНІЧНИХ НІТРАТНО- МАГНІЄВИХ СИСТЕМ.....	60
<i>Куценко С.В., Томенко В.І., Мусієнко М.П., Лиходід Р.В.</i> ПОБУДОВА ПОЛІСЕНСОРНИХ РЕКОНФІГУРОВАНИХ ПОЖЕЖНО- ОХОРОННИХ СИСТЕМ У ПРИМІЩЕННЯХ НА БАЗІ ТЕХНОЛОГІЇ ZIGBEE .....	67
<i>Лиходід Р.В., Рудницький В.М., Томенко В.І.</i> ПРОБЛЕМНІ АСПЕКТИ ЕВАКУАЦІЇ ЛЮДЕЙ ПРИ ВИНИКНЕННІ ПОЖЕЖ У СУЧАСНИХ БУДИНКАХ.....	71
<i>Магльована Т.В.</i> СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН.....	75

<i>Мосов С.П.</i>	
ЦИВІЛЬНА ОБОРОНА У СИСТЕМІ ОБОРОНИ ТА НАЦІОНАЛЬНОЇ БЕЗПЕКИ УКРАЇНИ.....	80
<i>Нефьодов Л.І., Філь Н.Ю., Губін Ю.Л.</i>	
МОДЕЛЬ ВИБОРУ РЕСУРСІВ ДЛЯ АВАРІЙНО-РЯТІВНИХ РОБІТ З ЛІКВІДАЦІЇ НАДЗВИЧАЙНИХ ПРИРОДНИХ СИТУАЦІЙ НА МАГІСТРАЛЬНИХ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРОГАХ .....	83
<i>Нуянзін В.М., Цвіркун С.В., Поздєєв С.В., Гвоздь В.М., Стащенко С.І., Некора О.В.</i>	
ВИЗНАЧЕННЯ ТЕПЛОТЕХНІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЗАЛІЗОБЕТОННОЇ КОЛОНИ, ЯКА БУЛА ПІДДАНА АГРЕСИВНОМУ КЛІМАТИЧНОМУ ВПЛИВУ .....	87
<i>Отрош Ю.А.</i>	
ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ РІЗЬБИ ЗРАЗКА, ЩО ВИПРОБОВУЄТЬСЯ МЕТОДОМ “ЗРІЗУ РІЗЬБИ” .....	92
<i>Рудницький В.М., Дядюшенко О.О., Шадхін В.Ю., Міненко О.В.</i>	
МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ЗБИРАННЯ ІНФОРМАЦІЇ ІНСПЕКТОРОМ ДПН ЗА ФАКТОМ ПОЖЕЖІ.....	101
<i>Спіріна О.Ю., Яковлева Р.А., Попов Ю.В., Обіженко Т.М., Галічевська О.В., Маладика І.Г., Гончаренко В.Ф.</i>	
ВПЛИВ ІНТЕРКАЛЬОВАНИХ ГРАФІТІВ НА ВОГНЕЗАХИСНІ ВЛАСТИВОСТІ СПУЧУВАНИХ ЕПОКСИДНИХ ПОКРИТТІВ .....	107
<i>Томенко В.І.</i>	
УДОСКОНАЛЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ОПЕРАТИВНО-РЯТУВАЛЬНИМИ ПІДРОЗДІЛАМИ МНС ПРИ ЛІКВІДАЦІЇ НАСЛІДКІВ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ .....	112
<i>Юрченко К.М., Стась С.В.</i>	
ПРОБЛЕМА, ЗАДАЧІ ТА СТРУКТУРНО-ЛОГІЧНА СХЕМА ІНФОРМАЦІЙНОГО СУПРОВОДУ ПРОЦЕСУ ПРОФЕСІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ ПРАЦІВНИКІВ СЛУЖБИ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ .....	116
<i>Андрієнко В.М.</i>	
ГОРІННЯ КОНДЕНСОВАНИХ СИСТЕМ МЕТАЛ + ОКИСЛЮВАЧ ПРИ ПІДВИЩЕНИХ ТЕМПЕРАТУРАХ НАГРІВУ .....	120
<i>Бут В.П., Левченко А.Д., Левченко Д.Є., Кришталь В.М., Землянський О.М., Землянський О.М.</i>	
МОНІТОРИНГ МІСЦЬ ЗНИЩЕННЯ БОЙОВИХ ОТРУЙНИХ РЕЧОВИН ТА ЇМ ПОДІБНИХ В НЕВЕЛИКИХ КІЛЬКОСТЯХ, ВИЯВЛЕНИХ ПРИ ПРОВЕДЕННІ РЯТУВАЛЬНО-ЛІКВІДАЦІЙНИХ РОБІТ .....	122
Анотації/abstracts .....	126
Автори (алфавітний покажчик).....	137
Вимоги до оформлення статей .....	138

УДК 624

Отрош Ю.А.

*Академія пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля*

## **ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ РІЗЬБИ ЗРАЗКА, ЩО ВИПРОБОВУЄТЬСЯ МЕТОДОМ “ЗРІЗУ РІЗЬБИ”**

У статті наведені результати досліджень напружено-деформованого стану зразка металевої арматури, що випробовується методом “зрізу різьби”. Наведені результати розрахунку фізично нелінійної математичної моделі різьби зразка.

**Постановка проблеми.** При експлуатації конструкцій відбувається накопичення пошкоджень у структурі металу, що викликає зміну його механічних властивостей [1]. Причини пошкоджень (просідання ґрунтів, дія вибухової хвилі, сейсмічні чи вогневі впливи) в основному схожі. В більшості випадків можливо відновити і використовувати залізобетонні та металеві конструкції аварійної зони і ділянок великих пошкоджень після вогневого впливу. При цьому використовується невелика кількість нових матеріалів і економиться час. Тому перед інженерами постають задачі з необхідності визначення фактичних характеристик міцності будівельних матеріалів, з яких виконані існуючі несучі конструкції, наприклад, при обстеженні будівель з метою реконструкції, перевірки несучої здатності існуючих будівель, тощо. Тому задача з визначення фактичних характеристик міцності конструкцій є актуальною в теперішній час.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Методи щодо визначення фактичних механічних властивостей металу поділяються на руйнівні та неруйнівні. Більш достовірними є руйнівні методи, які сьогодні є найбільш досконало вивченими і є найбільш поширеними. Самий поширений метод – визначення механічних властивостей металу шляхом розтягу зразків при одноосьовому статичному навантаженні. Для того, щоб виготовити зразок для подальшого дослідження механічних характеристик металу, необхідно відібрати проби металу з існуючих металевих конструкцій. Відібрати проби можливо з малозавантажених елементів конструкцій, що все ж таки знижує несучу здатність перерізів конструкцій, в яких відібрані проби.

Неруйнівні методи дослідження механічних властивостей металу також добре вивчені і їх існує достатньо велика кількість [2]. Вони поділяються на неруйнівні методи на фізичній основі і неруйнівні методи на механічній основі.

У неруйнівних методів також є недоліки. Усі неруйнівні методи є непрямими. Похибка отриманих показників є достатньо великою (до 15-20 %). Тому подібні вимірювання носять умовний характер і використовуються в статичній обробці отриманих результатів при паралельних випробуваннях руйнівними методами [3, 4, 5]. Але найбільшою перевагою неруйнівних методів є відсутність саме необхідності пошкодження конструкцій, механічні характеристики металів яких досліджуються.

Але існує і такий руйнівний метод, недолік якого порівняно із неруйнівними методами саме від локальної руйнації металу є мінімальним. Він називається метод “зрізу різьби”, і був уперше запропонований І. В. Ізосімовим. Основна ідея цього методу полягає у тому, що в матеріалі, що досліджується, просвердлюється отвір малого діаметру (порядку 5 мм), в якому нарізується різьба. В цю різьбу загвинчується випробувальний гвинт з високоміцної марки сталі, який має лише певну кількість повних витків різьби. До гвинта прикладається осьове статичне навантаження, що висмикує, яке поступово збільшується до повного руйнування різьбового з’єднання. Знаючи силу висмикування, яка відповідає руйнуванню з’єднання, та площу зрізаних витків в матеріалі, що досліджується, визначається фактична міцність металу зразка. Однією з переваг цього методу є точність отриманих

результатів. Дослідження які проведені на основі цього методу у порівнянні із руйнівним методом шляхом осьового розтягу зразків металу показали, що похибка визначення характеристик міцності металу методом “зрізу різьби” складає лише 2-3 % [6, 7]. Зважаючи на вище викладені переваги методу “зрізу різьби” зосередимо увагу на його детальному дослідженні.

**Ціль роботи.** Дослідження напружено-деформованого стану різьби при граничних навантаженнях шляхом математичного моделювання та співставлення результатів з експериментальними даними.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Були проведені експериментальні дослідження з визначення міцнісних характеристик металу арматури класу А240 (АІ) методом “зрізу різьби”. З торця арматури діаметром 10 мм був поздовжньо просвердлений отвір, у якому була нарізана метрична різьба марки М5. В цей отвір загвинчувався випробувальний гвинт, на якому нарізано два повних витки різьби. До випробувального гвинта було прикладене статичне осьове навантаження  $F_{\max}$ , що висмикує. Навантаження  $F_{\max}$  поступово збільшувалось до руйнування різьбового з’єднання. Разом було досліджено 4 партії зразків арматури А240 (АІ), у кожній з яких було по 6 зразків. Визначено, що величина руйнівного навантаження  $F_{\max}$  складає 400...500 кг.

Розглянемо роботу різьби, яка нарізана у отворі, що розташований з торця арматурного стержня класу А240 (АІ) діаметром 10 мм. Схема різьбового з’єднання, що досліджується, наведена на рисунку 1.

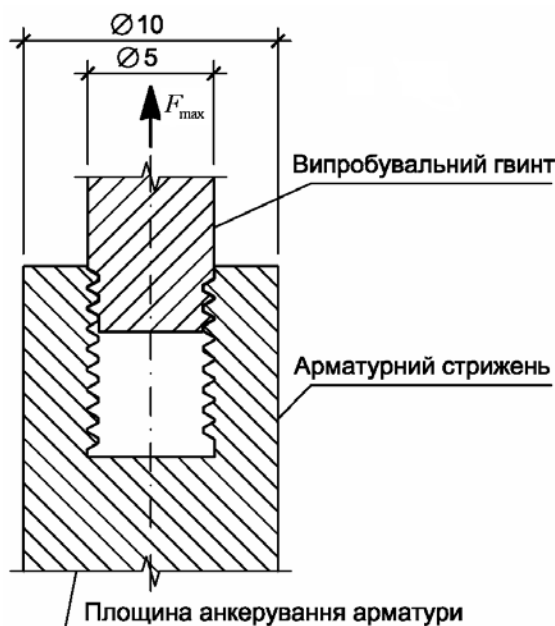


Рисунок 1 - Схема дослідження різьбового з’єднання

Задача про розподіл навантаження по виткам різьби вперше розв’язана Жуковським ще в 1902 р. Вважається, що навантаження по виткам різьби розподіляється нерівномірно по нелінійному закону. Максимально навантаженим є виток, що розміщений зі сторони діючої сили, що висмикує. На наступні витки навантаження поступово зменшується. Багатьма вченими встановлено, що при великих навантаженнях на різьбове з’єднання (при навантаженнях, що близькі до руйнівних) в найбільш завантажених витках різьби виникають пластичні деформації. При цьому відбувається перерозподіл навантаження з перевантаженого витка на інші, недовантажені до руйнівного стану витки [8]. Зважаючи на вище викладене у даних числових дослідженнях прийнято рівномірний розподіл навантаження по виткам.

У витках різьби виникає складний напружений стан, який однозначно описати досить складно. Напруження у різьбі визначались з використанням методу скінчених елементів (МСЕ) в переміщеннях [9, 10]. Розрахунки виконувались у програмному комплексі “Ліра”. Задача розв’язувалась у тривимірній постановці, тобто в кожному вузлі визначалися три лінійних переміщення уздовж трьох осей декартових координат:

$$a_i = \begin{Bmatrix} u_i \\ v_i \\ w_i \end{Bmatrix}, \quad (1)$$

де  $u_i$ ,  $v_i$  та  $w_i$  – відповідно переміщення уздовж осей  $x$ ,  $y$  та  $z$   $i$ -го вузла.

У результаті дії осьового зусилля, що висмикує, в різьбі виникають нормальні напруження  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  та дотичні  $\tau_{xy}$ ,  $\tau_{xz}$ ,  $\tau_{yz}$ , які пов’язані з деформаціями наступним виразом:

$$\{\sigma\} = [D]\{\varepsilon\}, \quad (2)$$

де

$$\{\sigma\} = \begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \\ \tau_{xy} \\ \tau_{yz} \\ \tau_{xz} \end{Bmatrix}, [D] = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} 1-\nu & \nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ \nu & 1-\nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ \nu & \nu & 1-\nu & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2} \end{bmatrix}, \quad (3)$$

$$\{\varepsilon\} = \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \\ \gamma_{xy} \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{xz} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} \\ \frac{\partial v}{\partial y} \\ \frac{\partial w}{\partial z} \\ \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \\ \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \\ \frac{\partial w}{\partial z} + \frac{\partial u}{\partial x} \end{Bmatrix}, \quad (4)$$

$\nu$  – коефіцієнт Пуассона;

$E$  – модуль пружності сталі, МПа.

Матриця  $[D]$  прийнята для ізотропного матеріалу.

Переміщення вузлів визначались з виразу

$$[K]\{a\} = \{q\}, \quad (5)$$

де  $[K]$  – глобальна матриця жорсткості, котра складається з матриць жорсткостей восьмиузових та шестивузових скінчених елементів;

$\{a\}$  – вектор переміщень (невдомих), що складається з векторів переміщень вузлів  $a_i$ ;

$\{q\}$  – вектор вузових навантажень.

Розроблена математична модель наведена на рисунку 2 та складається із 21528 вузлів та 20016 скінчених елементів. Математична модель складається із шестивузлових та восьмивузлових ізопараметричних просторових скінчених елементів. Навантаження від випробувального гвинта прикладені на два верхніх витки різьби. Граничні умови – заборона переміщень вузлів нижньої горизонтальної площини розрахункової моделі уздовж осей  $x$ ,  $y$ ,  $z$ . Розрахунки виконані з урахуванням лінійної залежності деформацій з напруженнями. Коефіцієнт Пуассона прийнятий рівним 0.3. Модуль пружності сталі прийнятий рівним 260000 МПа.

У результаті розрахунку отримані мозаїки розподілу усіх компонентів вектору напружень. На рисунку 3 наведена мозаїка розподілу напружень  $\sigma_y$ . Видно, що максимальні значення напружень складають 1356 МПа, що перевищує тимчасовий опір сталі 360 МПа на 276 %. Тому була розроблена математична модель з фізично нелінійних восьмивузлових та шестивузлових скінчених елементів, із характеристиками жорсткості, що відповідають діаграмі розтягу сталі досліджуваних зразків (рисунок 4) за допомогою стандартного методу – випробовування на розрив згідно з ГОСТ 12004-81 «Сталь арматурная. Методы испытания на растяжение».

У результаті розрахунку з врахуванням нелінійних властивостей розтягу металу в певних областях металу виникли деформації за межами текучості та руйнування металу. На рисунку 5 наведені схематично області розвитку пластичних деформацій та руйнування металу на декількох ступенях поступового завантаження.

На рисунку 6 наведені мозаїки нормальних та дотичних напружень після розрахунку з врахуванням нелінійних властивостей деформування металу при розтягу. На рисунку 7 наведені мозаїки головних напружень. Аналізуючи мозаїки напружень видно, що максимальні напруження відповідають головним напруженням  $\sigma_1$ , граничні величини яких складають 360 МПа, які виникають між завантаженими витками та під нижнім завантаженим витком і утворюють початкову зону зрізу металу. Під дією напружень  $\sigma_1$  та  $\tau_{xy}$  відбувається зсув різьби по основам витків.

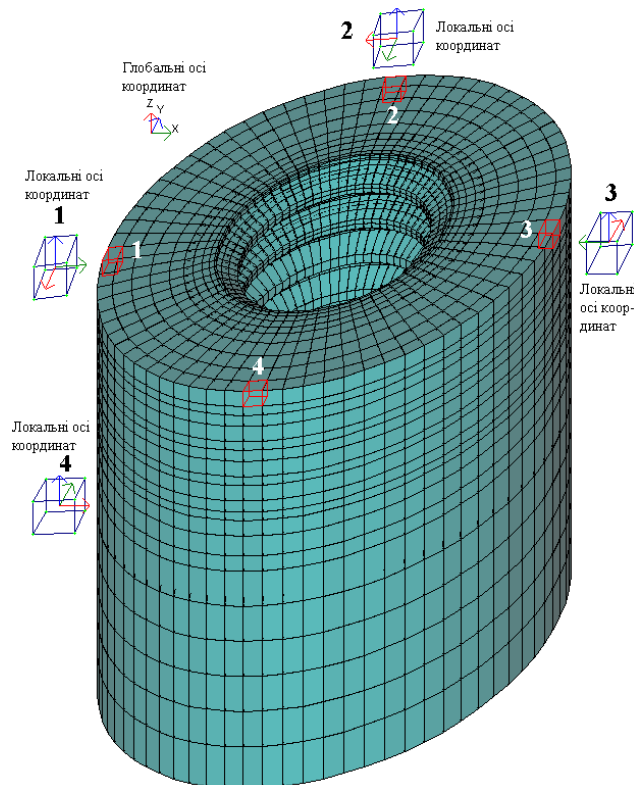


Рисунок 2 – Розрахункова модель. Розташування локальних осей координат



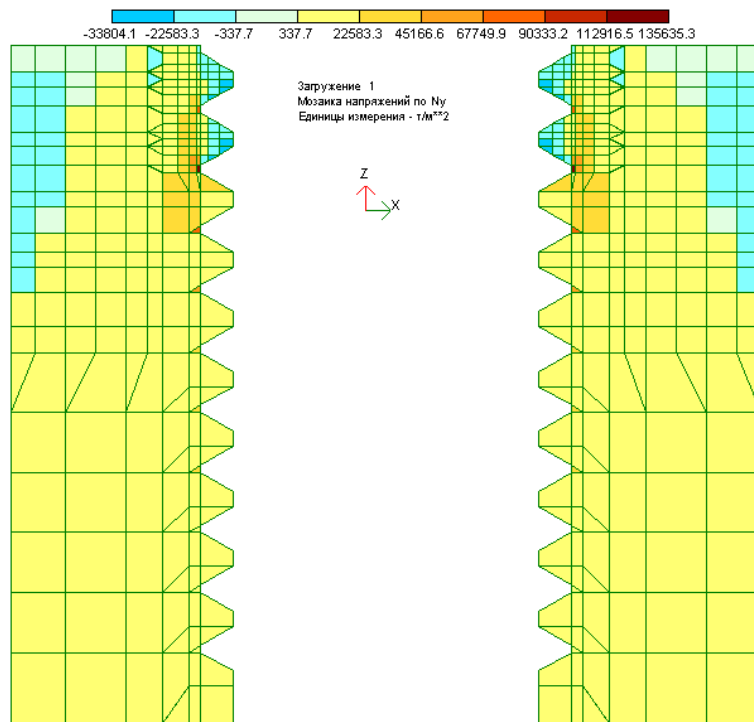


Рисунок 3 – Мозаїка напружень  $\sigma_y$  при лінійному розрахунку

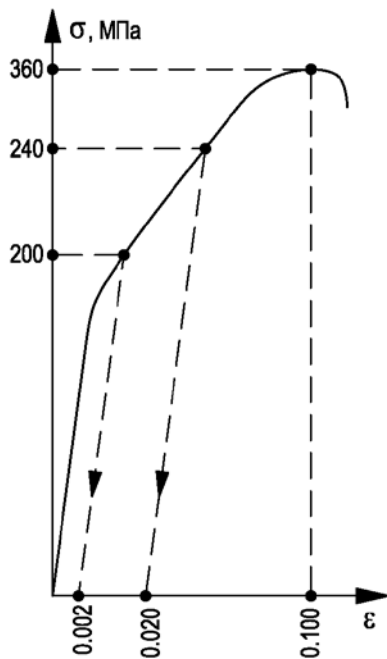


Рисунок 4 – Діаграма розтягу сталі для нелінійного розрахунку

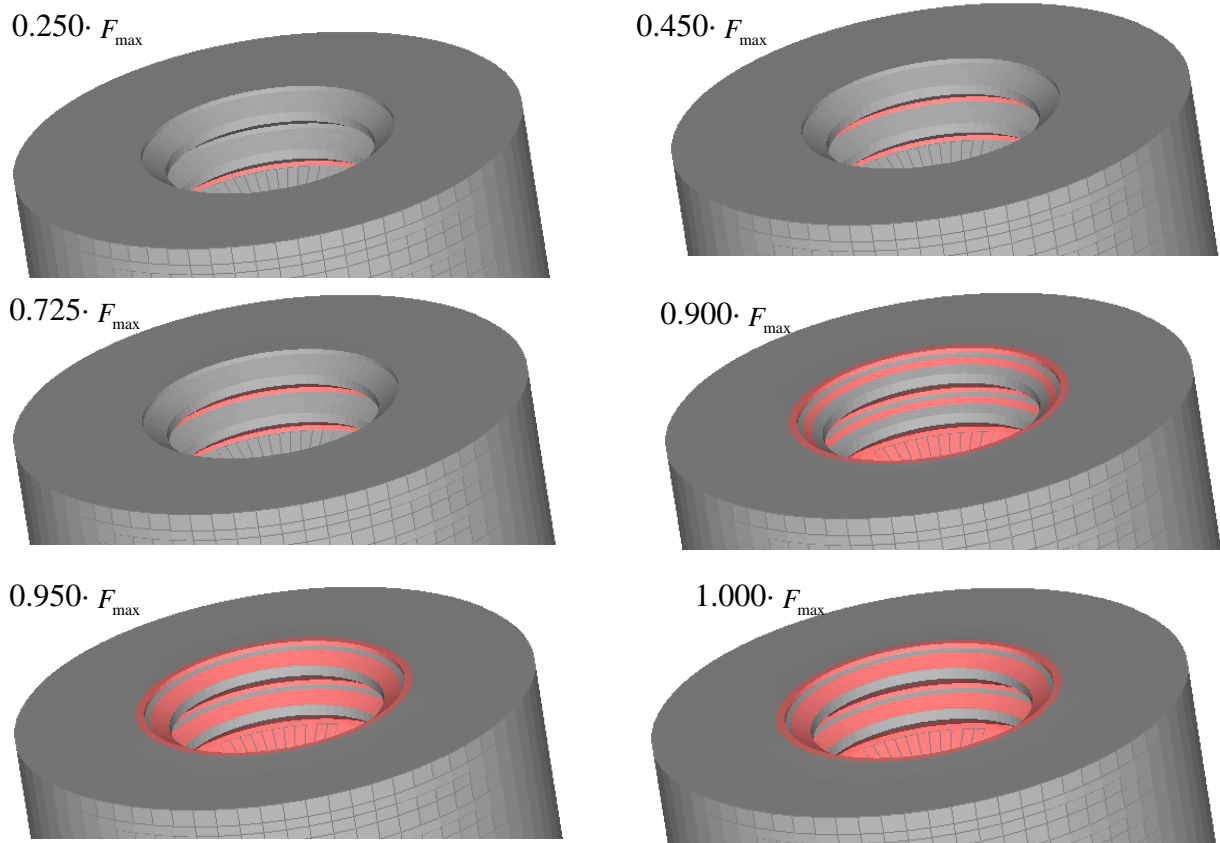
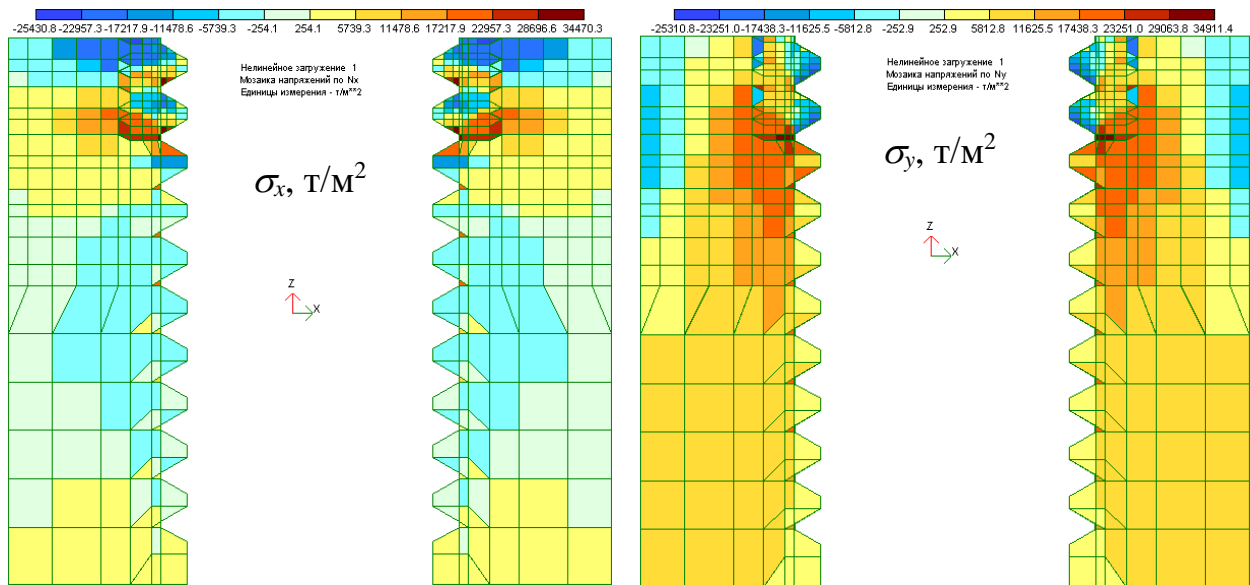


Рисунок 5 – Розвиток областей пластичності та руйнування металу зразка із збільшенням навантаження  $F_{max}$



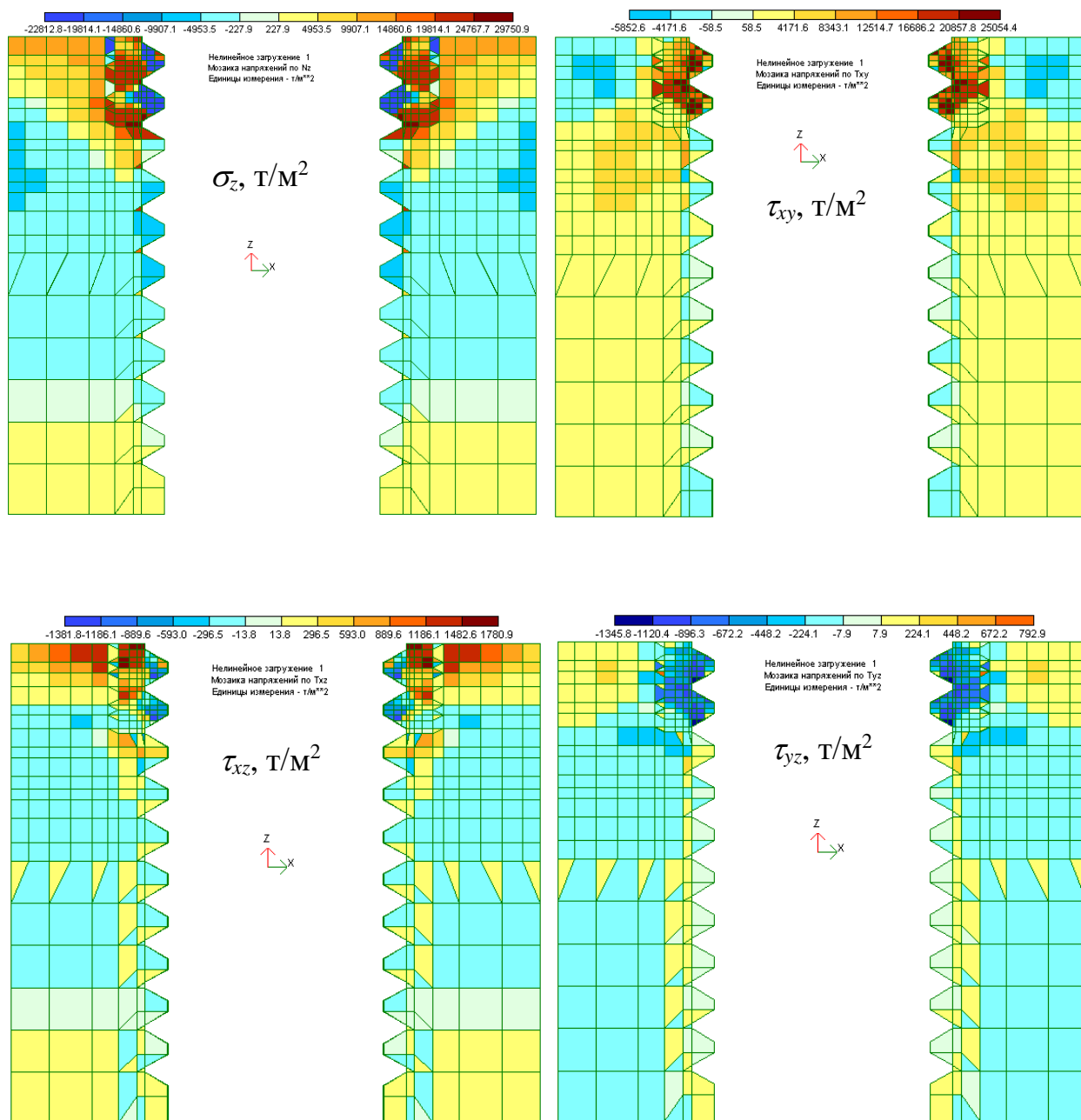


Рисунок 6 – Мозаїки головних та дотичних напружень при нелінійному розрахунку

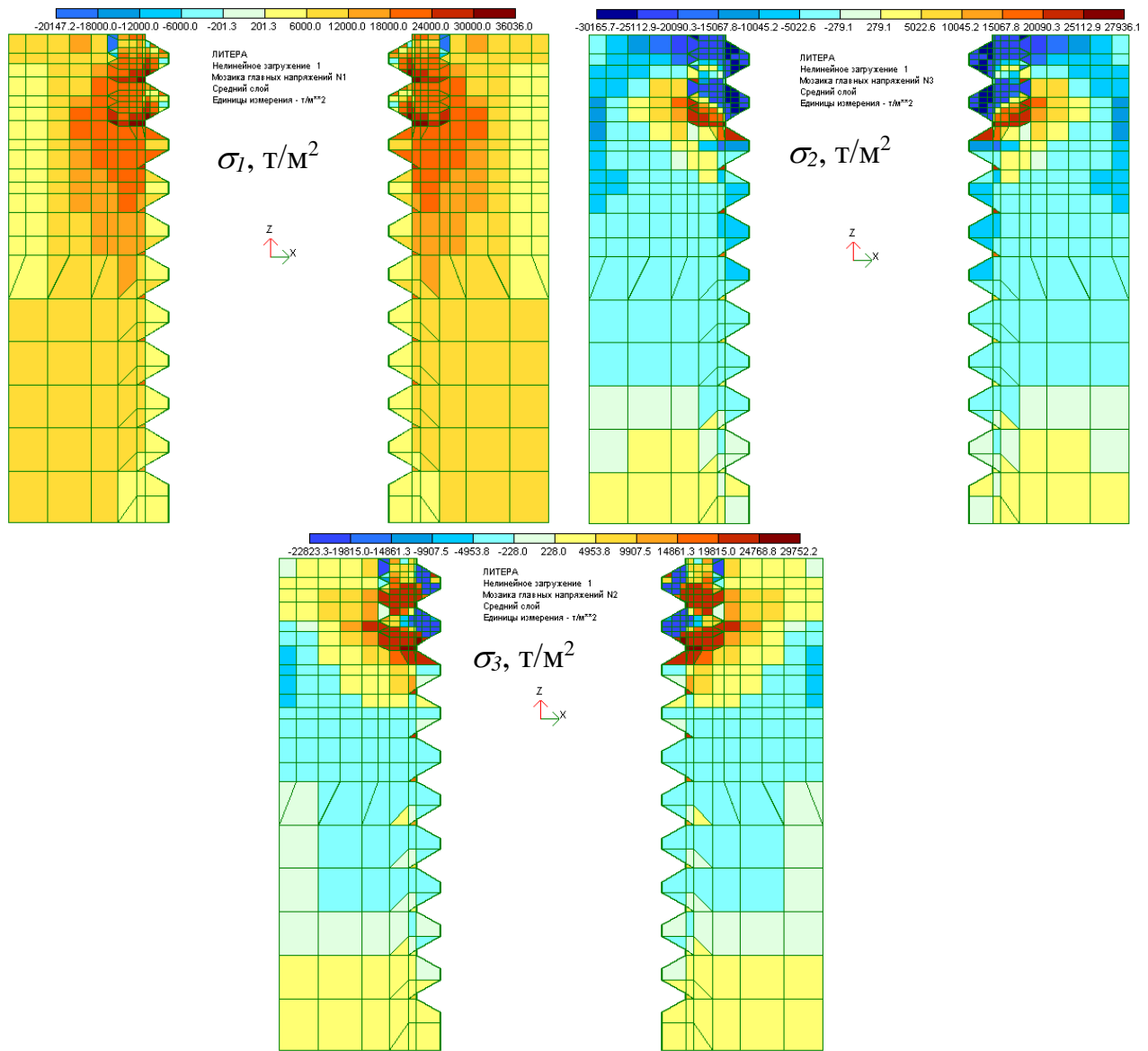


Рисунок 7 – Мозаїки головних напружень при нелінійному розрахунку

**Висновки.** В результаті проведеної роботи зробимо наступні висновки:

1. Проведений аналіз існуючих методів з визначення механічних властивостей металу натурних конструкцій.
2. Виконані нелінійні розрахунки методом скінчених елементів розробленої математичної моделі дозволили виявити області металу, в яких виникають пластичні деформації та руйнування металу, нормальні та дотичні напруження, що при цьому виникають.
3. Математична модель відобразила характер руйнування різьби зразка саме шляхом зрізу витків зразка. В місцях зрізу виникають найбільші нормальні та дотичні напруження.
4. У результаті математичного моделювання отриманий напружено-деформований стан металу зразка, що відповідає результатам експерименту.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Иванов А.П. Определение фактических механических характеристик сталей в эксплуатируемых конструкциях: Диссертация канд. тех. наук: 05.23.01. – К., 2000. – 184с.

2. Дрозд М.С. Определение механических свойств металла без разрушения. / М.С. Дрозд. – М.: Металлургия, 1965. – 170с.
3. Борисов В.Т и др. Контроль металла в энергетике / В.Т. Борисов, Н.В. Бугай, Ф.И. Измаилов. – К.: Техніка, 1980. – 134с.
4. Мерковец М.П. Определение механических свойств металла по твердости / М.П. Мерковец. – М.: Машиностроение, 1979. – 191с.
5. Берштейн М.Л. Механические свойства металлов / М.Л. Берштейн, В.А. Золотаревский. – М.: Металлургия, 1979. – 184с.
6. Иванов А.П. Определение прочности металла в стальных конструкциях без отбора проб / А.П. Иванов. // Бюллетень строительной техники. – 1990. – № 4. – с. 13-14.
7. Иванов А.П. К испытанию прочности стали методом «среза резьбы» // Металлостроительство: Тез. докл. междунар. науч. конф. (г.Макеевка, 25-26 мая 1996г.) – Т. I. – с. 83-85.
8. И. А. Биргер, Г. Б. Иосилевич. Резьбовые соединения. Библиотека конструктора. М.: «Машиностроение», 1973. – 256 с.
9. Zienkiewicz O. C. The finite element method. Volume 1: The Basis / O. C. Zienkiewicz, R. L. Taylor. – Oxford : Butterworth-Heinemann, 2000. p. 692.
10. Zienkiewicz O. C. The finite element method. Volume 2: Solid Mechanics / O. C. Zienkiewicz, R. L. Taylor. – Oxford : Butterworth-Heinemann, 2000. p. 463.