

Міністерство освіти і науки України  
Центральноукраїнський національний технічний університет  
Факультет будівництва, транспорту та енергетики  
Кафедра будівельних, дорожніх машин і будівництва

*Допустити до захисту*

зав. кафедрою БДМБ  
канд. техн. наук, професор  
\_\_\_\_\_  
" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2024р.

Настоящий В.А.

## КВАЛІФІКАЦІЙНА МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

на тему: «Дослідження впливу дефектів монтажу на НДС колон металевого  
каркасу висотних будівель»

**ДКД 19202 А**  
Альбом документів

Виконав здобувач освіти гр. БІ-23М-1

спеціальності 192 «Будівництво та  
цивільна інженерія»

\_\_\_\_\_  
" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2024 р.

Білов О. М.

Керівник магістерської роботи  
канд. техн. наук, доцент

\_\_\_\_\_  
" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2024 р.

Портнов Г.Д.

**Кропивницький - 2024рік**

# Центральноукраїнський національний технічний університет

( повне найменування вищого навчального закладу )

Інститут, факультет, відділення **БТ**

Кафедра, циклова комісія **будівельні, дорожні машини і будівництво**

Освітньо-кваліфікаційний рівень **магістр**

Спеціальність **192 «Будівництво та цивільна інженерія»**

(шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри БДМБ**

**к.т.н. проф. Настоящий В.А.**

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_ 2024 року

## **З А В Д А Н Н Я**

на кваліфікаційну магістерську роботу

**Білов Олексій Михайлович**

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) **«Дослідження впливу дефектів монтажу на НДС колон металевого каркасу висотних будівель»**

керівник проекту (роботи) *канд. техн. наук, доцент Портнов Г.Д. ,*

затверджені наказом вищого навчального закладу від “ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_ 2024 року №

2. Строк подання студентом проекту (роботи) *10.11.2024*

3. Вихідні дані до проекту (роботи): : ДСТУ

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) *1. Науково-дослідний розділ. 2. Охорона праці.*

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Пояснювальна записка (Не менше 10 листів, які включають методику та результати дослідження)

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

| Розділ                   | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата   |                  |
|--------------------------|-------------------------------------------|----------------|------------------|
|                          |                                           | завдання видав | завдання прийняв |
| Науково-дослідний розділ | доцент Портнов Г.Д.                       |                |                  |
| Охорона праці            | доцент Даренко В.В.                       |                |                  |

7. Дата видачі завдання 10. 09. 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів дипломного проекту (роботи) | Строк виконання етапів проекту ( роботи ) | Примітка |
|-------|------------------------------------------|-------------------------------------------|----------|
| 1     | Виконання науково-дослідного розділу     | 10. 09 - 10. 11.24                        |          |
| 2     | Розробка заходів з охорони праці         | 10. 09- 05. 11.24                         |          |
| 3     | Оформлення альбому документів            | 01. 11 - 10. 11.24                        |          |
|       |                                          |                                           |          |
|       |                                          |                                           |          |
|       |                                          |                                           |          |
|       |                                          |                                           |          |
|       |                                          |                                           |          |
|       |                                          |                                           |          |
|       |                                          |                                           |          |
|       |                                          |                                           |          |

Здобувач

( підпис )

Білов О.М.

(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

( підпис )

Портнов Г.Д.

(прізвище та ініціали)

| <i>Формат</i> | <i>Зона</i> | <i>Позиція</i> | <i>Позначення</i>   | <i>Найменування</i>                        | <i>Кількість</i> | <i>Примітки</i> |
|---------------|-------------|----------------|---------------------|--------------------------------------------|------------------|-----------------|
|               |             |                |                     | <i>Документація загальна</i>               |                  |                 |
|               |             |                |                     | <i><u>Знову розроблена</u></i>             |                  |                 |
|               |             |                |                     | <i>Анотація</i>                            | <i>1</i>         |                 |
|               |             |                |                     | <i>SUMMARY</i>                             | <i>1</i>         |                 |
| A4            |             |                | <i>ДКД 19202 ПЗ</i> | <i>Пояснювальна записка</i>                |                  |                 |
|               |             |                |                     | <i>Зміст</i>                               | <i>2</i>         |                 |
|               |             |                |                     | <i>Вступ</i>                               | <i>2</i>         |                 |
|               |             |                |                     | <i>Розділ 1. Огляд літератури</i>          | <i>10</i>        |                 |
|               |             |                |                     | <i>Розділ 2 Методика дослідження</i>       | <i>12</i>        |                 |
|               |             |                |                     | <i>Розділ 3 Результати дослідження</i>     | <i>38</i>        |                 |
|               |             |                |                     |                                            |                  |                 |
|               |             |                |                     | <i>Висновки за результатами досліджень</i> | <i>1</i>         |                 |
|               |             |                |                     | <i>CONCLUSIONS RESULTS OF RESEARCH</i>     | <i>1</i>         |                 |
|               |             |                |                     | <i>Список використаних джерел</i>          | <i>4</i>         |                 |
|               |             |                |                     | <i>Додаток 1</i>                           | <i>12</i>        |                 |
|               |             |                |                     |                                            |                  |                 |
|               |             |                |                     | <i>Додаток 3 (ОХОРОНА ПРАЦІ)</i>           | <i>5</i>         |                 |
|               |             |                |                     |                                            |                  |                 |
|               |             |                |                     |                                            |                  |                 |
|               |             |                |                     | <i>Ілюстраційні матеріали</i>              |                  |                 |
|               |             |                |                     | <i><u>Знову розроблені</u></i>             |                  |                 |
|               |             |                |                     |                                            |                  |                 |
| A4            |             |                | <i>ДКД 19202 ПР</i> | <i>Мультимедійна презентація</i>           | <i>14</i>        | <i>A4</i>       |
|               |             |                |                     | <i>з поясненнями методики</i>              |                  |                 |
|               |             |                |                     | <i>і результатів виконаних досліджень</i>  |                  |                 |

| Зм        | Лист | № документа    | Підпис | Дата |                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-----------|------|----------------|--------|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Розробив  |      | Білов О.М.     |        |      | <div style="text-align: center; padding: 10px;"> <b>ДКД 19202 ВД</b> </div> <div style="padding: 10px;"> <p>Дослідження впливу дефектів монтажу на НДС колон металевого каркасу висотних будівель</p> <p>Відомість дипломного проекту</p> </div> |
| Перевірив |      | Портнов Г.Д.   |        |      |                                                                                                                                                                                                                                                  |
|           |      |                |        |      |                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Н. контр. |      | Дарієнко В.В.  |        |      |                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Затвердив |      | Настоящий В.А. |        |      |                                                                                                                                                                                                                                                  |

| Стадія | М        | Лист | Листів   |                         |
|--------|----------|------|----------|-------------------------|
|        | <i>1</i> |      | <i>1</i> | <i>ЦНТУ гр БІ-32М-1</i> |
|        |          |      |          |                         |

## АНОТАЦІЯ

Дана робота присвячена вивченню впливу дефектів монтажу колон металевого каркасу висотних будівель на їх напружено – деформований стан.

На напружено-деформований стан колон багатоповерхових будівель істотно впливають дефекти монтажу:

- 1) від неправильності центрування;
- 2) від неправильності виготовлення (погнуття та викривлення);
- 3) від затискання у вузлу;

від нещільного пригіню фрезерованих торців в стику і неповного заповнення прокладкою.

Вплив нещільного пригіню фрезерованих торців в стику і неповного заповнення прокладкою є недостатньо вивченим для визначення впливу на напружено – деформований стан колони, змонтованої з декількох відправних марок.

Характер впливу факторів величини зазору і довжини прокладки на несучу здатність колони залежить від влаштування стику відносно головних осей перерізу.

Розроблена методика вибору довжини прокладки за допомогою ПК Solidworks.

Складені таблиці для вибору довжини підкладки в залежності від зазору в стику колон з перерізом двотавр колонний К1 по ГОСТ 26020-83 для випадків розкриття зазору в площинах максимальної і мінімальної жорсткості перерізу.

**Ключові слова:** колона, металевий каркас, висотна будівля, дефекти монтажу, стик колон, метод скінчених елементів.

## **ABSTRACT**

This work is devoted to the study of the influence of errors in the installation of columns of multi-storey buildings on their stress-strain state.

The stress-strain state of columns of multi-storey buildings is significantly affected by installation errors:

- 1) from incorrect centering;
- 2) from incorrect manufacturing (bending and warping);
- 3) from clamping in the node;

from loose fit of milled ends at the joint and incomplete filling with a gasket.

The influence of loose fit of milled ends at the joint and incomplete filling with a gasket is insufficiently studied to determine the influence on the stress-strain state of a column assembled from several starting grades.

The nature of the influence of the factors of the gap size and the length of the gasket on the bearing capacity of the column depends on the arrangement of the joint relative to the main axes of the section.

A method for selecting the length of the gasket using the Solidworks PC has been developed.

Tables have been compiled for selecting the length of the lining depending on the gap in the joint of columns with an I-beam K1 column cross-section according to GOST 26020-83 for cases of opening the gap in the planes of maximum and minimum stiffness of the cross-section.

**Keywords:** columns of multi-storey buildings, installation errors, column joint, finite element method.

## З М І С Т

|                                                                                                                         |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| ВСТУП .....                                                                                                             | 3         |
| <u>Розділ 1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ.....</u>                                                                                   | <u>5</u>  |
| 1.1 Огляд розвитку сталевих каркасних систем висотних будівель                                                          | 7         |
| 1.2 Розвиток виробництва сталевих прокату великих товщин.....                                                           | 8         |
| 1.3.Геометричні недосконалості сталевих конструкцій, що<br>враховуються при їх розрахунках .....                        | 9         |
| 1.4 Норми з приймання змонтованих конструкцій.....                                                                      | 12        |
| 1.5 Експериментальне визначення величини<br>ексцентриситету від нещільного прилягання торців на моделях<br>стиків ..... | 14        |
| 1.6 Вплив матеріалів зварних швів і підкладок на величину<br>ексцентриситету .....                                      | 18        |
| 1.7. Визначення ексцентриситетів від нещільного прилягання<br>торців для поширених поперечних перерізів колон .....     | 23        |
| 1.8 Результати натурних вимірів відхилень елементів колон .....                                                         | 30        |
| 1.9 Оцінка впливу неточностей монтажу колон .....                                                                       | 31        |
| ОСНОВНІ ВИСНОВКИ .....                                                                                                  | 33        |
| <u>Розділ 2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ .....</u>                                                                              | <u>34</u> |
| 2.1 Загальний алгоритм дослідження.....                                                                                 | 34        |
| 2.2 Побудова 3D моделі колони .....                                                                                     | 34        |
| 2.3 Дослідження НДС моделі .....                                                                                        | 40        |
| <u>Розділ 3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ.....</u>                                                                             | <u>46</u> |
| 3.1 Дослідження моделі з клиновидним зазором в площині<br>максимальної жорсткості .....                                 | 46        |

|                                                                                                                                                |           |          |         |      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|----------|---------|------|
| <i>ДКД 19202 ПЗ</i>                                                                                                                            |           |          |         |      |
| Зм.                                                                                                                                            | Арк.      | № докум. | Підпис  | Дата |
| Розроб.                                                                                                                                        | Білов     |          |         |      |
| Перевір.                                                                                                                                       | Портнов   |          |         |      |
| Рецензент                                                                                                                                      |           |          |         |      |
| Н.контр.                                                                                                                                       | Яцун      |          |         |      |
| Затвер.                                                                                                                                        | Настоящий |          |         |      |
| <i>Дослідження впливу дефектів<br/>монтажу на НДС колон<br/>металевого каркасу висотних<br/>будівель</i> <u>Пояснювальна</u><br><u>записка</u> |           |          |         |      |
| Літ.                                                                                                                                           |           | Аркуш    | Аркушів |      |
| М                                                                                                                                              |           | 2        | 104     |      |
| ЦНТУ<br>гр. БІ-23М-1)                                                                                                                          |           |          |         |      |

|                                                                                        |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.2 Дослідження моделі з клиновидним зазором в площині<br>максимальної жорсткості..... | 56        |
| 3.4 Висновки з розділу .....                                                           | 60        |
| <u>ВИСНОВКИ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ДОСЛІДЖЕНЬ .....</u>                                       | <u>63</u> |
| <u>CONCLUSIONS RESULTS OF RESEARCH .....</u>                                           | <u>64</u> |
| <u>Список використаних джерел.....</u>                                                 | <u>65</u> |
| ДОДАТОК 1 (Звіт з нелінійного дослідження) .....                                       | 69        |
| ДОДАТОК 3 (ОХОРОНА ПРАЦІ).....                                                         | 79        |

## ВСТУП

### Актуальність теми.

На напружено-деформований стан колон металевго каркасу висотних будівель істотно впливають дефекти монтажу:

- 1) від неправильності центрування;
- 2) від неправильності виготовлення (погнуття та викривлення);
- 3) від затискання у вузлу;
- 4) від нещільного пригіну фрезерованих торців в стику і неповного заповнення прокладкою.

Вплив нещільного пригіну фрезерованих торців в стику і неповного заповнення прокладкою є недостатньо вивченим для визначення впливу на напружено – деформований стан колони, змонтованої з декількох відправних марок.

**Зміст роботи:** інженерно-технічна розробка з елементами наукових досліджень, зорієнтованими на розв’язання конкретної прикладної науково-технічної задачі в галузі будівництва, пов’язаної з монтажем колон металевго каркасу висотних будівель

**Мета роботи:** обґрунтування параметрів стиків відправних марок колон.

### Задачі дослідження:

- визначити характерні параметри стиків колон;
- визначити фактори, які впливають на напружено – деформований стан колон;
- розробити алгоритм побудови твердотільної моделі колони, побудованої з двох відправних марок;
- виконати статичний нелінійний розрахунок моделі колони, побудованої з двох відправних марок;

|     |      |          |        |      |              |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------|------|
|     |      |          |        |      | ДКД 19202 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |              | 4    |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |              |      |

- визначити характер і закономірності впливу параметрів стику на несучу здатність колони;
- розробити методику вибору довжини прокладки стику за допомогою ПК Solidworks.
- скласти таблиці для вибору довжини підкладки в залежності від зазору в стику колон з поширеним перерізом.

**Предмет дослідження:** колона металевого каркасу висотної будівлі, складена з двох відправних марок

**Метод дослідження:** системний аналіз.

**Наукова та технічна новизна одержаних результатів:** розроблена методика вибору довжини прокладки стику за допомогою ПК Solidworks.

**Практичне значення одержаних результатів:** складені таблиці для вибору довжини підкладки в залежності від зазору в стику колон з перерізом «двотавр колонний К1 по ГОСТ 26020-83».

**Апробація та публікація результатів роботи.**

*Основні положення магістерської роботи доповідалися на III Всеукраїнській студентській науково-практичній конференції «Досвід впровадження в навчальний процес сучасних комп'ютерних технологій» (Кропивницький, квітень 2024).*

**Структура роботи.** Робота містить анотації українською та англійською мовами, пояснювальну записку на 84 сторінках, у тому числі 5 таблиць, 51 рисунок, список з 39 використаних джерел, а також мультимедійну презентацію з 27 слайдів. Текст роботи містить зміст, вступ, 3 розділи, висновки і рекомендації за результатами досліджень (українською та англійською мовами), 3 додатки.

|     |      |          |        |      |              |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------|------|
|     |      |          |        |      | ДКД 19202 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |              | 5    |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |              |      |

## РОЗДІЛ 1

### ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

#### 1.1 Огляд розвитку сталевих каркасних систем висотних будівель

Першою багатоповерховою будівлею зі сталевим каркасом, була чотириповерхова шоколадна фабрика Менье (Франція), 1872 р.р.. Будинок спирався на контрфорси, а каркас зовнішніх стін був встановлений на обв'язку зі швелерів. Горизонтальні навантаження сприймалися ромбічними зв'язками вздовж зовнішніх стін.

У сучасному розумінні висотне будівництво почалося після пожежі 1871 р. у Чикаго. У 1891р. 13-поверхова будівля, в 1893 р. - 20-поверхова. Жорсткість та стійкість багатоповерхових будівель забезпечувалася металевим каркасом. З'являються вертикальні діафрагми та вертикальні зв'язки.

1902 р. - будинок висотою 87 м (21 поверх). 1909 р., висотою 213 м (50 поверхів); 1913 р., висотою 241 м (60 поверхів); 1930 р., висотою 318 м (77 поверхів); у 1931 р., висотою 381м (102 поверхи),

На початку будівництва багатоповерхових будівель використовувалися зв'язкові каркаси; потім - рамно-зв'язкова система. У 40-х роках ХХ століття з появою зварних конструкцій поширення набули рамні системи.

Так будівлі головного корпусу МДУ та готелю «Україна», були досить високими для рамних систем (183 м і 144 м відповідно) і при їх будівництві були використані нові низьколеговані сталі типу НЛ2.

Величезний внесок у розвиток методів розрахунку та конструювання великопрогонових, висотних та спеціальних будівель та споруд зробили Балдін В.А., Ведяков І.І., Єремєєв П.Г., Кудишин Ю.І., Дроздов П.Ф Нікітін Н.С, Остроумов Б.В., Соболев Ю.В., Стрілецький Н.С., Травуш В.І., Савельєв В.А, Трофімов В.І., Ханджі В.В., Шапіро Г.А. та багато інших.

|     |      |          |        |      |              |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------|------|
|     |      |          |        |      | ДКД 19202 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |              | 6    |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |              |      |

Практика показала, що рамні та рамно-зв'язкові системи неефективні зі збільшенням висоти та зростанням горизонтальних навантажень. До середини ХХ століття зростання висотності будівель припинилося.

З 1960 років у висотному будівництві з'являються нові конструктивні системи - ствольна та оболонкова. Ствольна система розвивалася для будівель висотою до 300 м і набула поширення завдяки економічності та можливості зручного планування

З використанням оболонкової системи зведені будівлі заввишки 442 м (США, Чикаго, 1974 р.), башти-близнюки заввишки 417 м (США, Нью-Йорк, 1973 р.), заввишки 343 м (США, Чикаго, 1967).

Одночасно з розвитком металевих конструкцій у практиці висотного будівництва, впроваджується залізобетон.

Комбінацією ствольної та оболонкової систем є система «труба в трубі», в якій внутрішній ствол об'єднаний із зовнішньою оболонкою за допомогою залізобетонного або сталезалізобетонного внутрішнього ствола та колон із сталевих фасонного прокату, встановлених по периметру. (Будинки "Trump International Hotel & Tower" заввишки 356 м (США, Чикаго, 2009, рис. 1.1),



Рис. 1.1

В останні роки спостерігається тенденція будівництва надвисоких будівель. Наприклад, зазначені вище Burj Khalifa і Taipei 101, а також будівля

|     |      |          |        |      |              |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------|------|
|     |      |          |        |      | ДКД 19202 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |              | 7    |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |              |      |

Shanghai World Financial Center висотою 492 м (КНР, Шанхай, 2008, рис. 1.2)



Рис. 1.2

У будівлі зі ствольно-оболонковою несучою системою Burj Khalifa в найбільш навантажених елементах використана жорстка арматура, а вище 120-го поверху використаний металевий каркас, зав'язаний на залізобетонні пілони і сталеві вертикальні ферми.

У будівлі «Shanghai World Financial Center», запроектованому також за ствольно-оболонковою системою, по чотирьох кутах встановлені колони з поперечним перерізом 5,5х5,5 м у вигляді масивних залізобетонних пілонів з бетону класу міцності В 70 в із жорсткою арматурою із сталевих листів.

|     |      |          |        |      |              |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------|------|
|     |      |          |        |      | ДКД 19202 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |              | 8    |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |              |      |

межею плинності 590 МПа завтовшки до 100 мм (рисунок 1.3.)

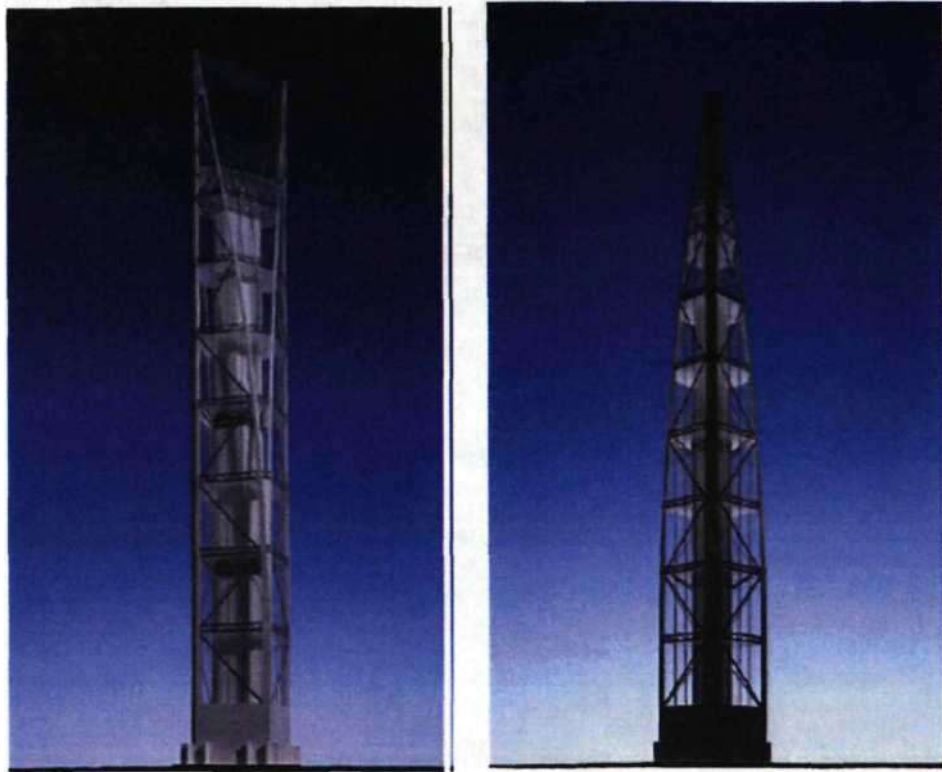


Рис. 1.3

Використання металоконструкцій полегшує прокладання комунікацій, дозволяє звільнити внутрішній простір від колон. Комбіновані сталезалізобетонні конструкції ядр жорсткості дозволяють знизити навантаження на фундамент, а комбіновані сталезалізобетонні конструкції плит перекриттів - збільшити їх робочі прольоти.

## 1.2 Розвиток виробництва сталевого прокату великих товщин

У сучасних висотних будинках застосовуються прокатні двотаврові профілі з паралельними гранями полиць з товщиною полиці до 125 мм, а також листи товщиною до 230 мм при межі плинності 345 МПа.

Прокат випускається із зміцненням методом термомеханічної обробки та з прискореним охолодженням.. При цьому з'являються суттєві залишкові напруження стиснення, що забезпечують високий опір сталей крихкому руйнуванню, змінним навантаженням та корозії.

|     |      |          |        |      |              |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------|------|
|     |      |          |        |      | ДКД 19202 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |              | 9    |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |              |      |

"Принцип сім'ї сталеї" демонструє зарубіжна практика будівництва висотних будівель. Так висотна будівля «IBM» у м. Сіетлі (США) розбита на три яруси. У нижньому ярусі застосовані колони із сталей високої міцності (600 МПа), у середньому – підвищеної міцності (350 МПа), у верхньому – звичайна вуглецева кипляча сталь (235 МПа). При конструюванні вузлів конструкції каркаса немає значної зміни перерізу колон.

1.3. Геометричні недосконалості сталевих конструкцій, що враховуються при їх розрахунках

Як правило, колони висотних будівель є центрально-стислими.

Точне застосування стискаючого навантаження по центру тяжкості перерізу практично неможливо: завжди мають місце випадкові ексцентриситети. Вплив на початкові ексцентриситети надають похибки виготовлення та монтажу, обмежені виробничими допусками, а також викривлення та погнуття, що виходять внаслідок необережного транспортування елемента.

Початкові ексцентриситети за своїм походженням розбиті на три групи:

- 1) ексцентриситети від неправильності центрування;
- 2) ексцентриситети від неправильності виготовлення (погнуття та викривлення);
- 3) ексцентриситети від затискання у вузлі.

Застосування фасонного та листового сталевого прокату дозволяє застосовувати прокатні двотаври з товщинами полиць до 125 мм та листи завтовшки до 230 мм з межею плинності до 350 МПа. У перерізах з'являється нещільний пригін фрезерованих торців в стику і неповне заповнення.

Величини ексцентриситетів залежать від характеру, роботи та типу конструкції. Основним видом недосконалості для колон висотних будівель є

|     |      |          |        |      |              |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------|------|
|     |      |          |        |      | ДКД 19202 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |              | 10   |

ексцентриситети від неправильного центрування, погнуття та нещільного пригонки фрезерованих торців.

Недосконалості мають випадковий характер, що змушує розглядати їх як статично випадкові величини.

Сучасні вітчизняні норми для розрахунку сталевих конструкцій пропонують використовувати коефіцієнт поздовжнього вигину, який складається із двох частин. Перша частина враховує фізичну нелінійність роботи матеріалу при втраті стійкості та обчислюється як відношення критичної напруженості центрального стрижня до межі плинності сталі. Друга частина враховує наявність випадкових ексцентриситетів і є ставленням критичної напруженості при позацентровому стиску до критичної напруженості центрально стисненого стрижня. Критичні напруження центрально стисненого стрижня можуть бути отримані за результатами випробувань. Критичні напруження при позацентровому стиску є функцією випадкових ексцентриситетів, які можуть бути отримані шляхом статистичних досліджень. Прийнятою величиною випадкового ексцентриситету в нормах, що діють, є вираз:

$$e_b = \frac{i}{20} + \frac{L}{750}, \quad (1.1)$$

де  $i$  – радіус інерції перерізу стійки;

$L$  – розрахункова довжина стійки.

Формулу 1.1 можна призвести до безрозмірного запису (відносного ексцентриситету), розділивши обидві його частини на радіус інерції:

$$m = \frac{e_b}{i} = \frac{1}{20} + \frac{\lambda}{750} \quad (1.2)$$

Впровадження величин ексцентриситетів проведено у 1950-1960-х роках і з того практично не змінювалися.

|     |      |          |        |      |              |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------|------|
|     |      |          |        |      | ДКД 19202 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |              | 11   |

У різних джерелах ексцентриситет від неправильного центрування стрижня (перше доданок формули 1.1) має великий розкид величин.

Одними з відомих випробувань є проведені дослідження стислих стрижнів сталевих ферм, проведених професором С.М. Никифоровим та в ЦНДІС МПС. Дослідження стислих стрижнів легких ферм показують, що з гнучкості від 40 до 80 відносний ексцентриситет коливався в межах 0,10...0,15. Проведені дослідження важких ферм у більшості випадків при тих же гнучкостях показують величини відносних ексцентриситетів в діапазоні 0,05...0,07. Останні значення дуже близькі до обчислень коефіцієнта поздовжнього вигину в сучасних нормах.

Дані про відносний ексцентриситет показують, що величина відносного ексцентриситету залежить від гнучкості стрижня, а значення ексцентриситету - від похибок центрування і становить 0,05.

При цьому величини ексцентриситетів визначалися шляхом вимірювання напруження в лабораторних моделях з ексцентриситетами на різних ділянках поперечного перерізу з подальшим обчисленням моменту і подовжньої сили, що діє. Відносний ексцентриситет визначався як відношення:

$$m_o = \frac{M}{N \cdot \rho}, \quad (1.3)$$

где  $M$  — згинаючий момент;

$N$  - поздовжня сила в колоні;

$\rho$  - ядрова відстань перерізу.

Також до геометричних недосконалостей стиснутих стоек слід віднести відхилення, викликане неправильним центруванням елементів при встановленні їх один на одного. Воно виявляється у зміщенні суміжних

|     |      |          |        |      |              |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------|------|
|     |      |          |        |      | ДКД 19202 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |              | 12   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |              |      |

перерізів один щодо одного в стику із зменшенням фактичної площі торкання фрезерованих торців.

#### 1.4 Норми з приймання змонтованих конструкцій

У сучасних нормах, що містять вимоги до приймання змонтованих конструкцій багатоповерхових будівель з металевим каркасом висотою до 150 м, відхилення верхніх перерізів колон від рисок повинні бути не більшими за наступні значення при довжині колон: до 4000 мм - 12 мм; більш 4000 до 8000 – 15 мм; більш 8000 до 16000 – 20 мм; більш 16000 до 25000 – 25 мм.

Початкова зігнутість елементів (стрілка) не має перевищувати 1/750 відстані між точками закріплення, але не більше 15 мм.

Односторонній зазор між фрезерованими поверхнями в стиках колон не більше 0,0007 поперечного розміру перерізу колони при площі контакту не менше 65% площі поперечного перерізу.

Відхилення елемента від прямолінійності (початкова зігнутість) відповідно до стандартів США не повинне перевищувати 1/1000 довжини елемента.

Відхилення колон від вертикальної осі не повинно перевищувати 1/500 довжини марки.

Відхилення нижнього перерізу першої колони від розбивальних осей не має перевищувати 12,7 мм.

Різні відхилення призначені для внутрішніх колон і колон, розташованих з боку фасаду. Так, на перших 20 поверхах положення центру тяжіння поперечного перерізу фасадної колони не повинно перевищувати відстані 25,4 мм (1") від розбивної осі всередину будівлі і 50,8 мм (2") від розбивної осі назовні будівлі.

Для наступних поверхів відхилення від розбивної осі може збільшуватися на 1,58 мм (1/16") на кожному поверсі, але не повинно

|     |      |          |        |      |              |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------|------|
|     |      |          |        |      | ДКД 19202 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |              | 13   |

перевищувати 50,8 мм (2") від розбивної осі всередину будівлі та 76,2 (3") від розбивної осі назовні будівлі.

Центри тяжіння поперечних перерізів колон, що стоять у ряду вздовж фасаду, не повинні виходити за межі «коридора» величиною 38,1 мм (1,5") для будівель довжиною до 92 м; далі — на кожні 30 м довжини можна додавати по 12,7 мм, але ширина коридору не повинна перевищувати 76,2 мм (3").

У напрямку паралельного фасаду відхилення від будівельної осі не повинно перевищувати 25,4 мм (1") на кожну сторону на перших 20 поверхах; вище - до цього відхилення можна додати 1,58 мм (1/16") на кожному поверсі; відхилення в напрямку паралельного фасаду не повинно перевищувати 38,1 мм (1,5") у кожну сторону від розбивальної осі.

Відхилення внутрішніх колон будівлі та колон, що примикають до шахт ліфтів, від розбивальних осей будівлі не може перевищувати величини 25,4 мм (1") на перших 20 поверхах. Для кожного наступного поверху допустиме відхилення збільшується на 0,79 мм (1/ 32"), але лише до величини 50,8 мм (2").

Крім того, регламентується допустима відстань між точками закріплення колон перекриттями: ухил лінії, що з'єднує точки розкріплення колон не повинен перевищувати 1/1000 висоти поверху.

Така система допусків при прийманні конструкцій зумовлена точністю встановлення фасадних систем.

Зазори між фрезерованими торцями величиною 1,6...6,35 мм рекомендовано заповнювати підкладками з маловуглецевої сталі; зазори величиною до 1,6 мм – допускається не заповнювати. Зазори розміром понад 6,35 мм у стиках не допускаються.

Відповідно, що діють під час приймання змонтованих металевих конструкцій на території Євросоюзу, величина відхилення від будівельної осі будівлі не повинна перевищувати 0,01 від максимального габариту профілю,

|     |      |          |        |      |              |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------|------|
|     |      |          |        |      | ДКД 19202 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |              | 14   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |              |      |

але не більше 5 мм. Зазор між фрезерованими торцями не повинен перевищувати 1 мм. Зазор, що залишається, повинен бути не більше 0,5 мм, а контактна поверхня повинна становити не менше  $2/3$  від площі поперечного перерізу колони.

1.5 Експериментальне визначення величини ексцентриситету від нещільного прилягання торців на моделях стиків.

Метою експериментальних досліджень є встановлення дійсного напружено-деформованого стану стику з недосконалістю між фрезерованими торцями у вигляді клиноподібного одностороннього зазору під дією навантаження, що стискає.

Завданнями досліджень було: визначення напружень в елементах стику та встановлення величини майданчика контакту між фрезерованими торцями під дією розрахункового навантаження на стик; — встановлення правильності прийнятих розрахункових моделей шляхом порівняння розрахункових та експериментальних даних, зокрема параметрів елемента, що моделює лінії відносного ковзання, при вирішенні контактних завдань у ПК ANSYS.

Опис моделей. Проведено випробування двох моделей стиків. Обидві моделі є парою поставлених один на одного прямокутних сталевих призм розмірами 150x150x380 мм (рисунок 1.5, а). Малі грані кожної призми фрезерувалися, причому на одній із призм моделі торець оброблявся під деяким кутом до поздовжньої осі. Наявність ухилу одного з торців призм при поєднанні їх поздовжніх осей дає односторонній зазор величиною 2,0 мм для ухилу площини торця  $0,764^\circ$  (модель А) та 3,9 мм для ухилу  $1,5^\circ$  (модель Б) відповідно. З протилежного зазору сторони ребра призм перебувають у контакті. Звідси почне розвиватись зона контактних деформацій. Утворений двома торцями призм зазор частково заповнюється підкладкою зі сталі, аналогічної сталі призм, що має клиноподібну форму і утворює зазор, що залишається, величиною  $\sim 1,5$  мм в обох моделях (рисунок 1.5, б). Даний

|     |      |          |        |      |              |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------|------|
|     |      |          |        |      | ДКД 19202 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |              | 15   |

клиноподібний зазор і підкладка є недосконалостями, вплив яких на роботу стику 1 передбачається, встановити.

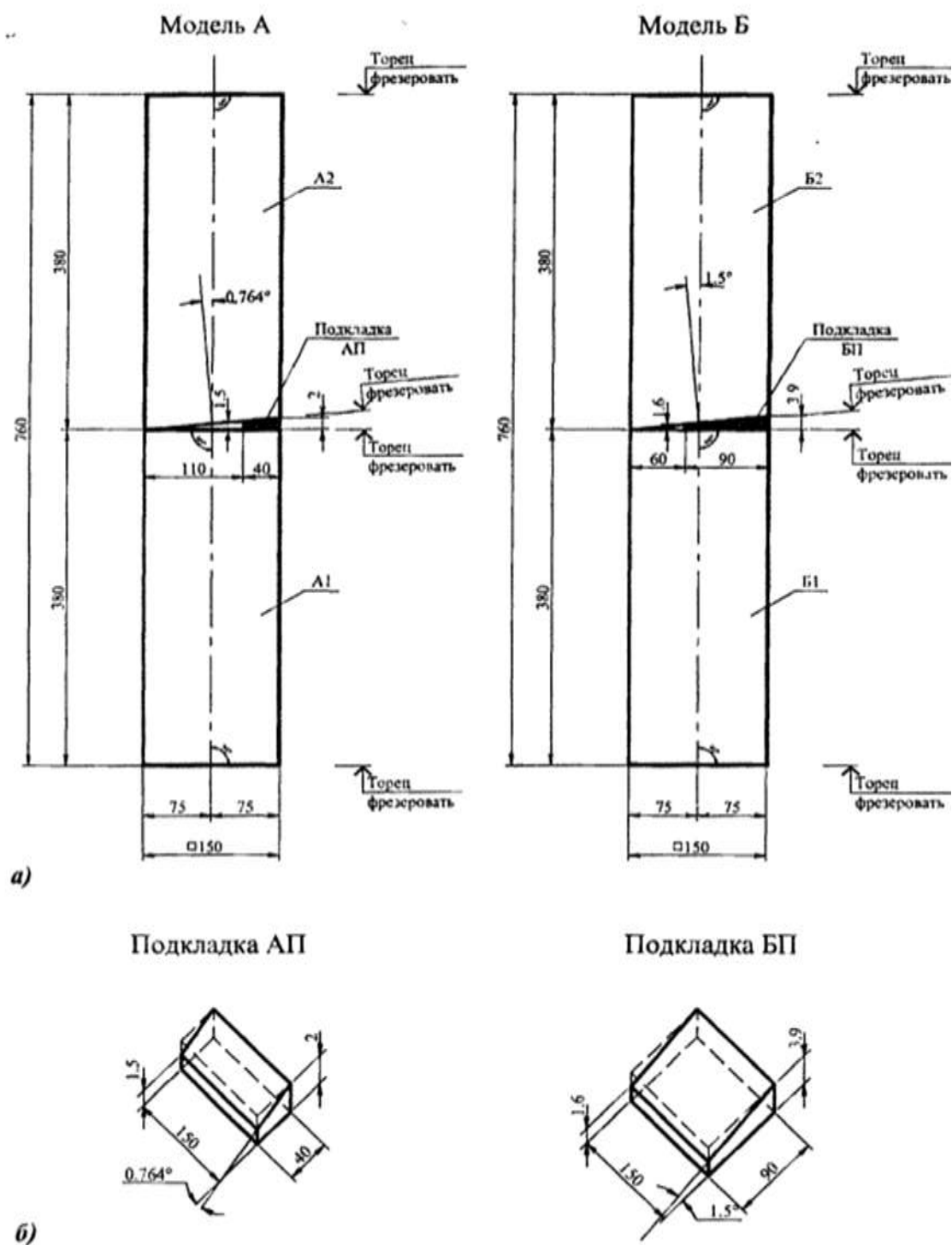


Рис. 1.5 Розміри моделей стиков (а) і підкладок (б)

Матеріали. Як матеріал призм і підкладок прийнята зарубіжна листовая сталь S355. Розрахункове значення межі плинності сталі, визначене за результатами випробувань дискретних зразків, становить 315 МПа.

Призми для моделі А виготовлені з листа завтовшки 150 мм, а обидві підкладки та призми для моделі Б — із заготовок листа завтовшки 230 мм.

Випробувальне та вимірйовальне обладнання. Випробування моделей на стиск проводилися за допомогою вертикального гідравлічного преса. Верхній і нижній столи преса були виставлені в горизонтальне положення і закріплені від поворотів, моделюючи жорстке затискання деталі, що випробовується.

Навантаження. Нормативне поздовжня стискаюче навантаження, обчислене як добуток нормативної межі плинності стали призм та площі їх поперечного перерізу. Навантаження зразків проводилося поетапно. Випробування припинялися при досягненні фактичної межі плинності стали по всьому поперечному перерізі зразка, про що свідчила стабілізація передачі навантаження.

Результати випробувань. Проведені випробування дали можливість побудувати діаграми залежності укорочень від прикладеного до моделей навантаження, а також діаграми відносних деформацій залежно від напружень, що діють у поперечному перерізі призм. На них чітко виділяються дві ділянки: зони пружності та пластичності.

Якісним підтвердженням наявності ексцентриситетів передачі навантаження в моделях, що розглядаються, є характер розподілу напружень по вертикальних поверхнях призм. При невеликих навантаженнях в моделі А ексцентриситет рухається від частини стику, де розташована прокладка у бік поздовжньої осі стрижня. При подальшому збільшенні навантаження ексцентриситет переміщається на інший бік перерізу, де розвивається контактний майданчик.

|     |      |          |        |      |              |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------|------|
|     |      |          |        |      | ДКД 19202 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |              | 17   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |              |      |

У моделі Б положення ексцентриситету щодо поздовжньої осі стрижня змінюється в межах тієї частини перерізу, де розташована прокладка і не переходить на бік, де розвивається контакт. Це підтверджується епюрами напруження на сторонах А і С, що мають ухил в один бік протягом усієї історії навантаження.

Епюри напружень поблизу стиків представлені на рис. 1.6.

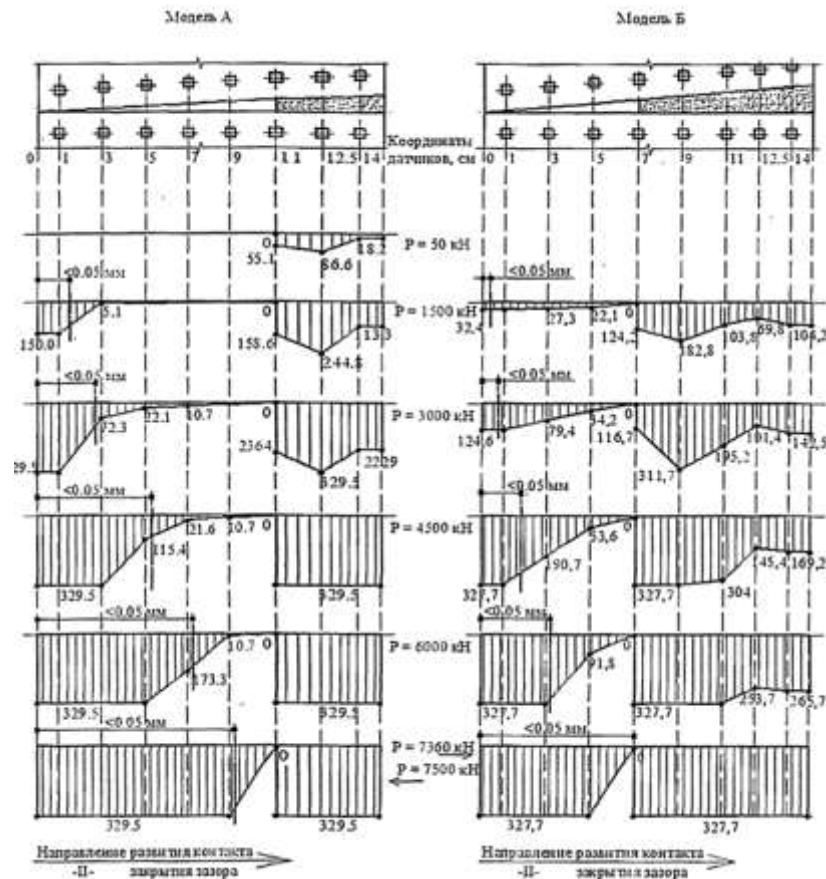


Рис. 1.6 Епюри головних напружень в стику

У моделі А напруження близьке до межі плинності розвивається переважно в крайніх зонах поперечного перерізу. Розвиток майданчика контакту йде одночасно зі зростанням напруження в підкладці. Осьова зона поперечного перерізу залишається ненавантаженою до застосування повного навантаження.

В моделі Б: майданчик контакту розвивається повільно через значну площу підкладки. По розподілу напружень видно, що навантаження моделі стику передається переважно через підкладку.

Максимальні ексцентриситети для всіх варіантів відповідають мінімальному розрахунковому навантаженню 0,2 від повного.

Мінімальні значення ексцентриситетів для всіх кривих, що відносяться до моделі А, відповідають навантаженню 0,5...0,7 від повного, коли в стику починається інтенсивний розвиток зони контакту, що врівноважує напруження, що виникають в підкладці. При навантаженні рівному або наближеному до повного (0,8...1) ексцентриситети плавно збільшуються.

Для моделі Б характерно монотонне зменшення величини ексцентриситету протягом всього процесу. Майданчик контакту не розвивається через значну площу підкладки.

#### 1.6 Вплив матеріалів зварних швів і підкладок на величину ексцентриситету

Діючі норми регламентують дві величини, за якими оцінюється - якість виконаного стику:

1) величина зазору між фрезерованими торцями не повинна перевищувати 0,0007 поперечного розміру перерізу колони;

2) площа контакту має становити не менше 65% площі поперечного перерізу.

Перша вимога практично у 100% випадків не виконується .

На практиці зазори перевищують значення 0,0007 поперечного перерізу колони.

На виконання вимоги, що стосується величини площі контакту, зазор, що вийшов після вивірки і тимчасового кріплення колон заповнюють підкладками з вуглецеві сталі. Норми США допускають заповнення зазорів величиною 1,6...6,35

|     |      |          |        |      |              |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------|------|
|     |      |          |        |      | ДКД 19202 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |              | 19   |

мм підкладками з маловуглецевої (м'якої) сталі. Зазори завбільшки до 1,6 мм допускається не заповнювати, а зазори розміром понад 6,35 мм не допускаються.

При дослідженні двотаврові стійки з профілю, аналогічного вітчизняному 40К1 зі зварними стиками між фрезерованими торцями були проміжки зазначених розмірів. Визначалася несуча здатності зварного стику на розтяг після того, як він зазнав значних пластичних деформацій від стискаючих навантажень. В результаті досліджень встановлено, що зварний шов не втрачає несучу здатність за наявності зазору величиною менше 1,5 мм між фрезерованими торцями.

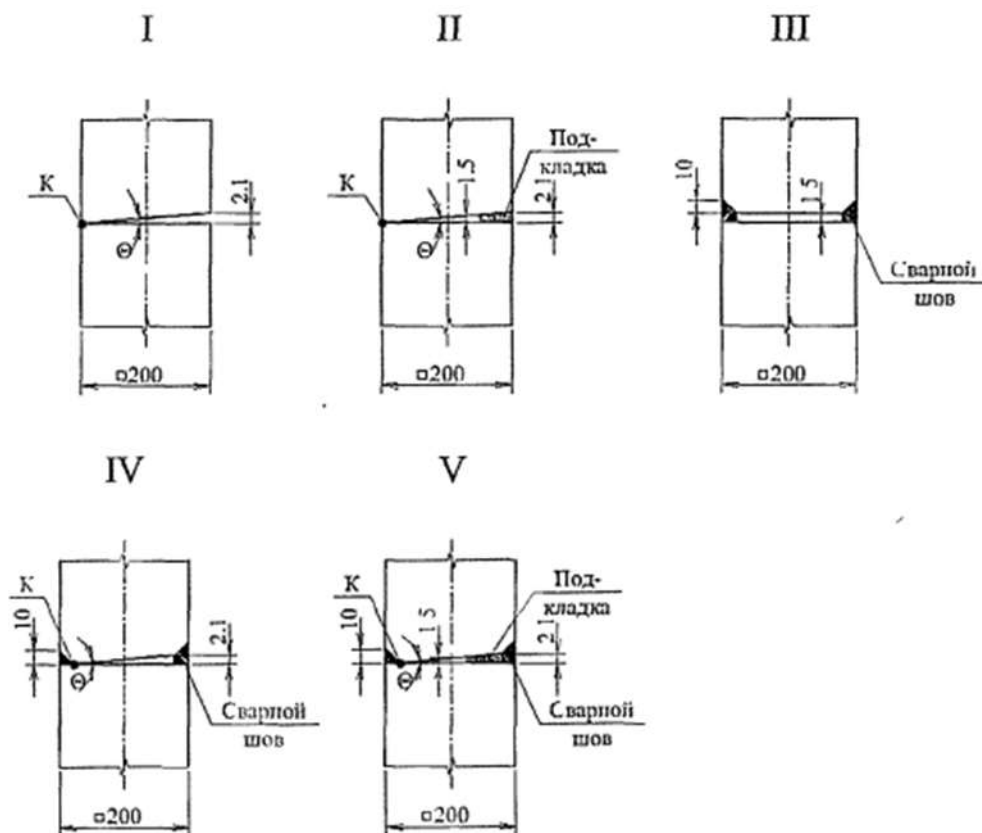


Рис. 1.7 Моделі стиків колон

Для визначення величини ексцентриситету проведені розрахунки кінцево-елементних (КЕ) моделей на ЕОМ із використанням ПК ANSYS 11.0. Завдання вирішувалося з моделюванням нелінійних властивостей матеріалів. У зоні торкання тіл, що деформуються, були введені елементи, що моделюють контакт. Як модель стику прийнятий призматичний сталевий зразок з розмірами в плані 200х200 мм довжиною 1 м, розрізаний на дві рівні частини по 0,5 м. На

|     |      |          |        |      |              |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------|------|
|     |      |          |        |      | ДКД 19202 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |              | 20   |

одній з отриманих половин моделювався зріз торця під кутом, а в деяких розрахункових схемах - обробка кромek для моделювання зварних швів. Досліджувані моделі можна розбити на п'ять груп:

I - модель з клиноподібним зазором розкриттям 2,1 мм без підкладок і зварювання;

II - модель з клиноподібним зазором, що залишається величиною 1,5 мм і підкладкою;

III - модель з паралельними торцями елементів, з зазором, що залишається, величиною 1,5 мм і зварними швами;

IV - модель з клиноподібним зазором величиною 2,1 мм зі звареними швами;

V — модель з клиноподібним зазором, що залишається, величиною 1,5 мм, зварними швами і підкладкою (рис. 1.7).

Матеріал моделей сталь S355.

Матеріал підкладок, крім сталі S355, використана вуглецева сталь 80. Дана сталь не має майданчика плинності.. Також при моделюванні підкладок використовувалася сталь 08кп із вираженням майданчиком плинності на рівні 230 МПа.

З метою встановлення залежності величини ексцентриситету від міцності зварного шва, при їх моделюванні приймався метал, наплавлений електродами E42, E50 та E85.

У площині стику перетин має неоднорідну будову за рахунок наявності зварних швів, контактної майданчика, а також підкладок. Так як елементи стику мають різні характеристики міцності, епюра нормальних напружень у площині фрезерованого торця була також нерівномірною (рис. 1.8).

|     |      |          |        |      |              |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------|------|
|     |      |          |        |      | ДКД 19202 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |              | 21   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |              |      |

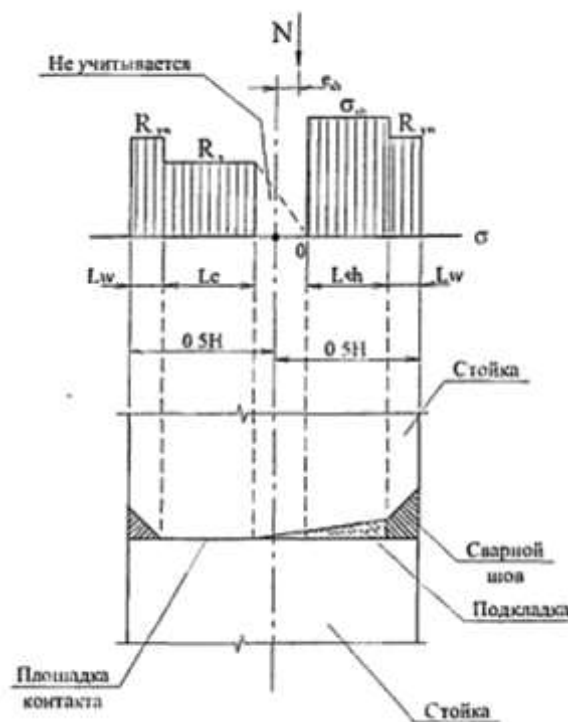


Рис. 1.8 Епюра нормальних напружень

За наявності в стику зазору, що залишається, величиною 1,5 мм ексцентриситет у колоні може досягати величини 10,2 мм (модель II Б). Розрахунок моделей з клиноподібними зазорами величиною 2,5 мм та конструктивними зварними швами по периметру поперечного перерізу (моделі IV а, Б, с, d) показав, що наявність такого зазору призводить до ексцентриситет величиною до 23 мм. При заповненні підкладками зазору між фрезерованими торцями з використанням різних матеріалів (моделі II а, Б, с) виявлено, що мінімальний ексцентриситет відповідає моделі з матеріалом підкладок зі сталі С345. У таких моделях ексцентриситет дорівнює 1,7 мм (модель II а), що на 23% менше, ніж у моделі без підкладки (у моделі I ексцентриситет дорівнює 2,2 мм). При заповненні конструкційною сталлю ексцентриситет становить 10,2 мм (модель II Б). Наявність у моделі підкладок із пластичної сталі 08кп (модель II с) дає величину ексцентриситету 8,4 мм, близьку до моделі з підкладкою із твердої сталі 80.

У моделі з підкладкою із твердої сталі виникає перенапруження на стиках, елементів у зоні підкладки через її підвищену міцність.

|     |      |          |        |      |              |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------|------|
|     |      |          |        |      | ДКД 19202 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |              | 22   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |              |      |

У моделі з підкладкою з пластичної сталі торець у зоні підкладки недонапружений, оскільки підкладка має характеристики, нижчі від металу колонії.

Модель із підкладкою зі сталі S355 характеризується рівномірним розподілом напружень у зоні контакту та підкладки. Характер розподілу основних напружень в тілі стику, що моделюється, на кінцевому етапі навантаження представлений на рис. 1.9. Пластичні деформації у поперечному перерізі розвиваються практично симетрично.

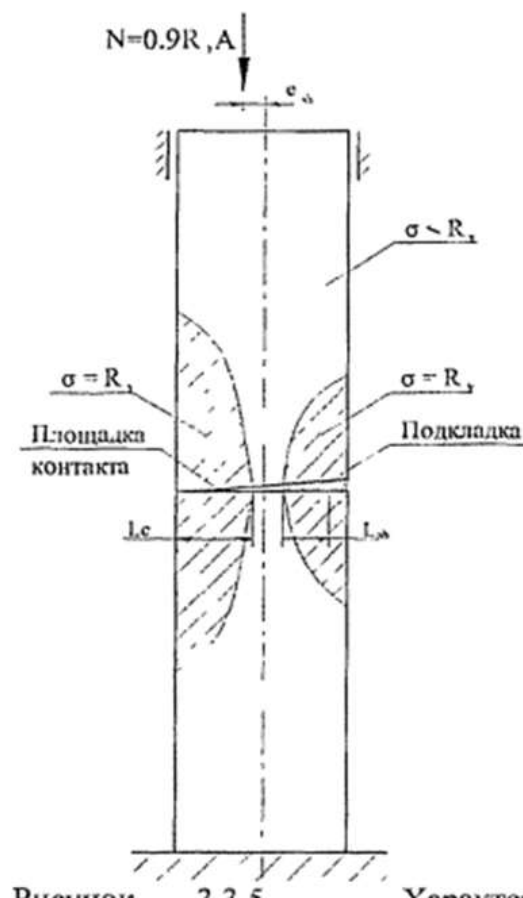


Рис. 1.9 Характер розподілення напружень

За відсутності підкладок між фрезерованими торцями та за наявності зварних швів, найбільш кращим зварювальним матеріалом виявилися електроди E85 (модель IV d). Наплавлений E85 метал найбільш міцний і найменш пластичний. При використанні такого матеріалу є ризик утворення холодних і гарячих тріщин.

При розрахунку моделей стиків, найбільш наближених до реальних стиків (група V) з підкладками та зварними швами виявлено, що найменший ексцентриситет виникає у моделі V а, у якій всі елементи зі сталі S355.

Різниця між ексцентриситетами в моделях з однаковими підкладками та різними зварними швами не перевищує 0,2 мм.

1.7. Визначення ексцентриситетів від нещільного прилягання торців для поширених поперечних перерізів колон

При моделюванні стиків двотаврових колон був використаний сортамент США двотаврів з паралельними гранями полиць, товщиною полиць від 40 до 125 мм, а співвідношення площі полиці до площі стінки  $A/A_w = 2,0.. 2,3$ .

Двотавр W14x211 – за товщиною полиць та співвідношення  $A/A_w$  є аналогом двотавра 40K5 за вітчизняним сортаментом.

При моделюванні стиків колон коробчастого перерізу прийняті профілі габаритами 750x750 мм, 650x650 мм та 600x600 мм з товщиною стінки - 230 мм, 150 мм, 115 мм, 75 мм. Переріз колон складається з чотирьох листів, з'єднаних зварними швами з обробкою кромки і катетом не більше 20 мм. Відношення площі полиці до площі стінки таких профілів лежить у діапазоні  $A/A_w = 0,7... 1,3$ .

Були створені групи моделей, в яких варіюються величини початкового зазору G і зазору  $G_s$ , що залишається (рис.1.10).

Довжина заповнення зазору підкладками змінюється від моделі до моделі.

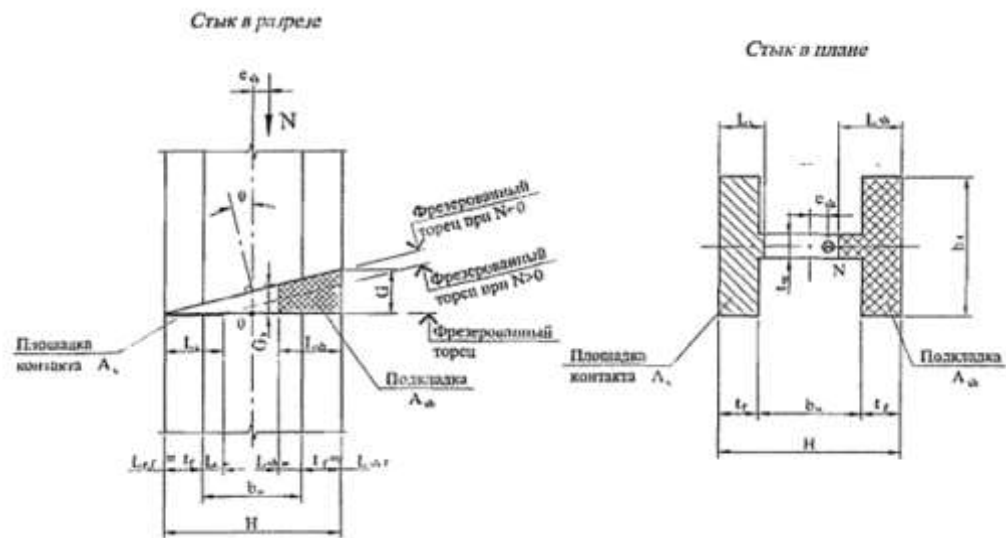


Рис. 1.10 Моделирование стыку в двотавровой колоні

Початковий зазор  $G$  прийнятий величиною 10 мм, 6,5 мм або 1,5 мм;  $G_s$ , що залишається - 2,5 мм, 1,5 мм або 0,5 мм. Для двотаврових профілів прораховані варіанти із зазором, розкритим як у площині більшої, так і меншої жорсткості.

Є кілька варіантів сполучення колон з зазором. Для двотаврових колон таких випадків чотири (рис. 1.11, 1.12), а для колон коробчастого перерізу - два (рис. 1.13).

Коли зазор у стыку колони коробчастого перерізу вимагає заповнення з чотирьох сторін поперечного перерізу, виникає зона стыку, недоступна для заповнення підкладками.

|     |      |          |        |      |
|-----|------|----------|--------|------|
|     |      |          |        |      |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

ДКД 19202 ПЗ

Арк.

25

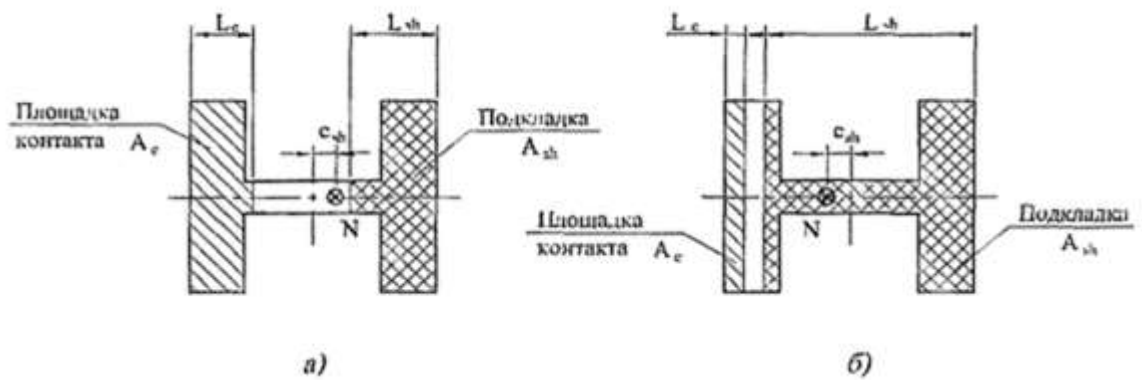


Рис. 1.11 Варіанти заповнення стиків колон з двотавра в площині максимальної жорсткості

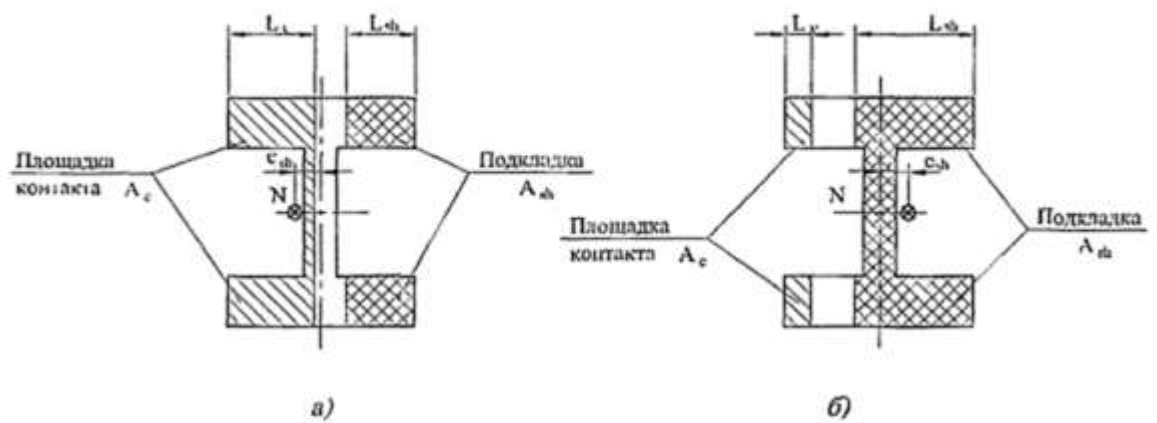


Рис. 1.12 Варіанти заповнення стиків колон з двотавра в площині мінімальної жорсткості

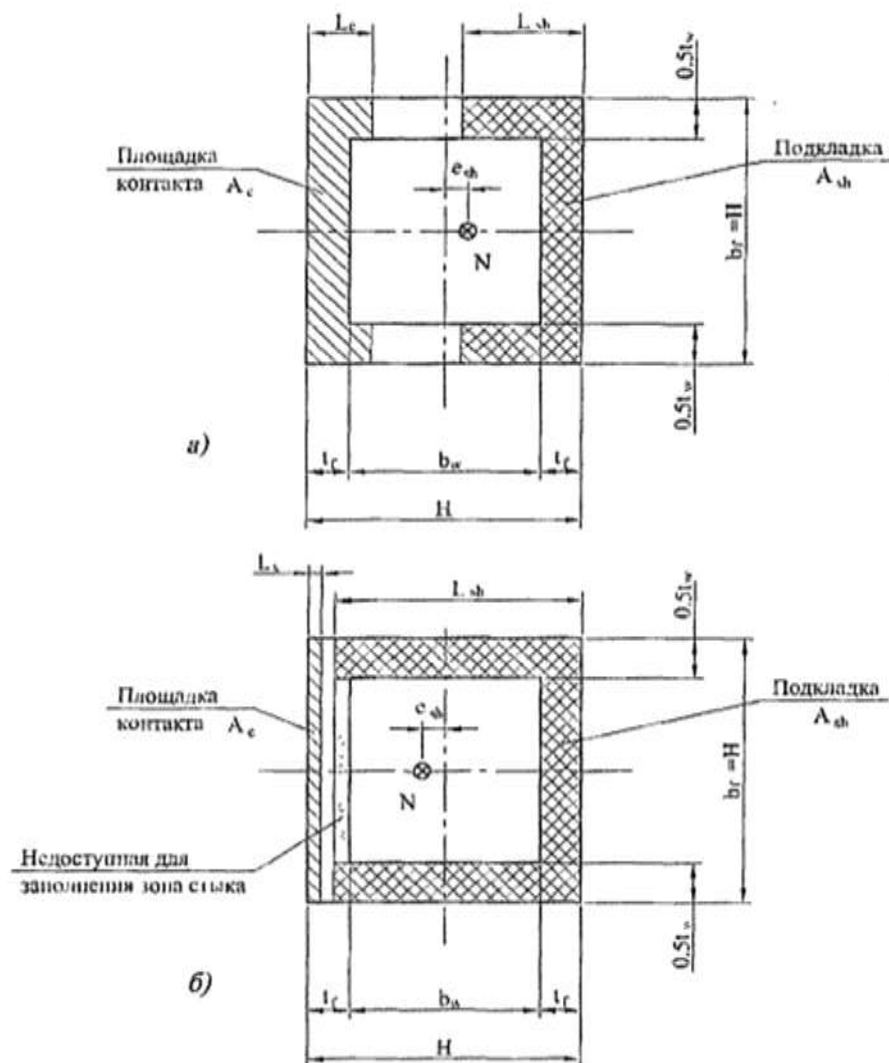


Рис. 1.13 Варіанти заповнення стиків колон коробчастого перерізу

Характер розподілу напружень за поперечним перерізом двотаврової колони в зоні стику при великих величинах зазорів ( $G = 10$  і  $G_s 69 = 6,5$  мм), розкритих у площині більшої жорсткості, для всіх ізоляційних профілів практично однаковий. При зазначених значеннях зазорів на одній з полиць розвивається майданчик контакту, в той час як напруження в підкладці рівномірно збільшуються і досягають межі плинності. При малих, значеннях зазору, що залишається ( $G_s = 1,5$  і  $0,5$  мм) у профілі W14x730 також розвивається контактний майданчик, а в профілі 40K1 зростання напружень в зоні контакту не

спостерігається. Напруження в підкладці профілю 40K1 розподілені менш рівномірно, ніж у профілі W14x730.

.У коробчастих профілях 750x230 зафіксовано нерівномірний розподіл напружень, рівних межі плинності сталі, у зоні розвитку контактних деформацій при великих величинах зазорів ( $G = 10$  і  $G_s = 6, 5$  мм). Майданчик контакту має форму овалу, по кутах поперечного перерізу напруження зростають повільно зі збільшенням навантаження. У профілі 600x230 має місце рівномірний розподіл напружень у зоні контакту та підкладки: тут при зростанні навантаження контакт розвивається на полиці і поступово переходить на стінки профілю, У підкладці напруження рівномірно збільшуються до досягнення величини межі плинності.

За результатами обчислень ексцентриситетів будувалися графіки залежності ексцентриситета від величини недосконалості у стику. Визначалося відношення заповненої підкладками частини перерізу загальної площі поперечного перерізу елемента  $A_{sf}/A$ . Для стиків двотаврових стійок із зазором у площині більшої жорсткості максимальний ексцентриситет зафіксований у моделі профілю 40K5 (W14x211) при початковому зазорі  $G = 6,5$  мм, що залишається  $G_s = 1.5$  мм. Для моделей із зазором у площині меншої жорсткості максимальне значення ексцентриситету 0,25 відповідає профілю W 14x500 при початковому зазорі 10 мм і 2,5, що залишається.

Для колон коробчастого перерізу максимальний ексцентриситет відповідає профілю розмірами 600x600x75 мм при початковому зазорі 6,5 мм і 2,5 мм, що залишається. Найбільші ексцентриситети відповідають малим поперечним перерізам стрижнів. В цілому, для кожного окремого профілю, при початкових зазорах 10 або 6,5 мм, максимальний ексцентриситет буде відповідати тій моделі, в якій заповнена підкладками одна з полиць двотавра або стінка коробчастого профілю. Стінка двотавра (або стінки коробчастого перерізу) повністю включаються до роботи і не дають розвиватися контактній зоні. У моделях з великих профілів контактна область включає полицю в роботу та врівноважує

|     |      |          |        |      |              |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------|------|
|     |      |          |        |      | ДКД 19202 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |              | 28   |

напруження в протилежній полиці, де зазор заповнений підкладками. Тому великі профілі мають менші ексцентриситети.

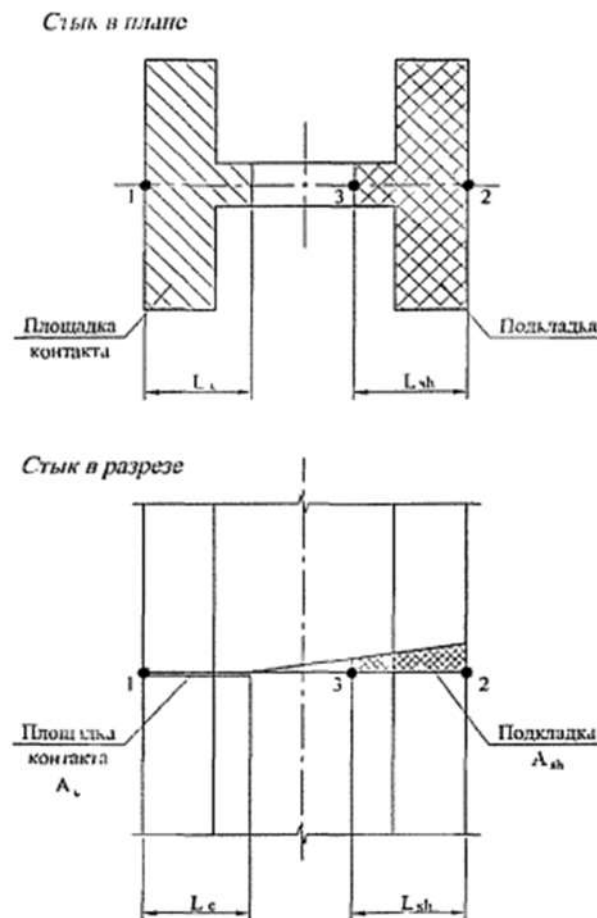


Рис. 1.14 Характерні точки стику

На рисунках 1.14 видно, що для двотавра 40K5 (W14x211) деформації у зоні підкладки (т. 3) зростають швидше, ніж у контактній області (т. 1), а великого профілю W14x730 полиця з контактною зоною (т. 1) деформується швидше протилежної полиці та стінки, де у зазорі присутні підкладки (т. 2 та 3). Напруження в точках 1 та 3 двотавра 40K5 (W14x211) зростають з однією швидкістю, випереджаючи напруження в аналогічних точках для двотавра W14x730 (рис. 1.15). Полиця з контактною зоною та стінка (т. 1 і 3) двотавра 40K5 входять у пластичну стадію роботи при 30% від повного навантаження, задіюючи заповнену підкладками частину стінки.

Для двотавра W14x730 полиця і частина стінки без заповнення досягають межі плинності лише за 80% навантаження. При цьому, у великому двотаврі в частині перерізу, де розвивається контакт, напруження зростають швидше за напруження в протилежній полиці і стінці.

Різниця у характері роботи двотаврів пояснюється різним співвідношенням площі полиці до площі стіни.

Ексцентриситет обернено пропорційний величині співвідношення  $A/A_w$ .

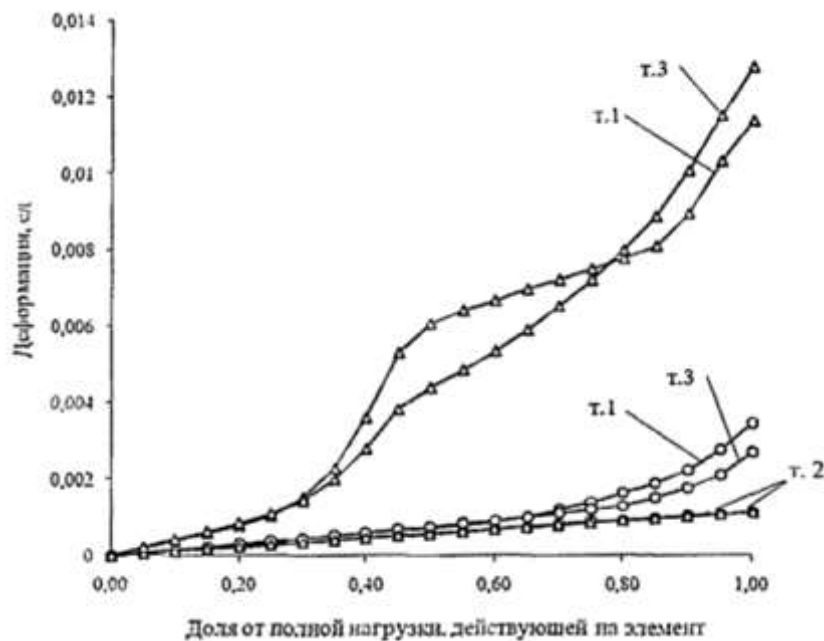


Рис. 1.15 Деформації в характерних точках стика

Застосування конструкційних сталей підвищеної міцності в стиках колон призводить до локальних перенапружень в торцях елементів, що з'єднуються.

Застосування сталей типу 08кп призводить до включення зварного шва в роботу та концентрації напруження.

і Властивості матеріалів зварних швів та підкладок повинні бути близькими до властивостей основного матеріалу колони.

Мінімальні та близькі до цієї величини ексцентриситети зафіксовані в стиках з зазором, що залишається, рівним 0,5 при його заповненні підкладками на 80-95% від площі поперечного перерізу елементів колони.

|     |      |          |        |      |
|-----|------|----------|--------|------|
|     |      |          |        |      |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

ДКД 19202 ПЗ

Арк.

30

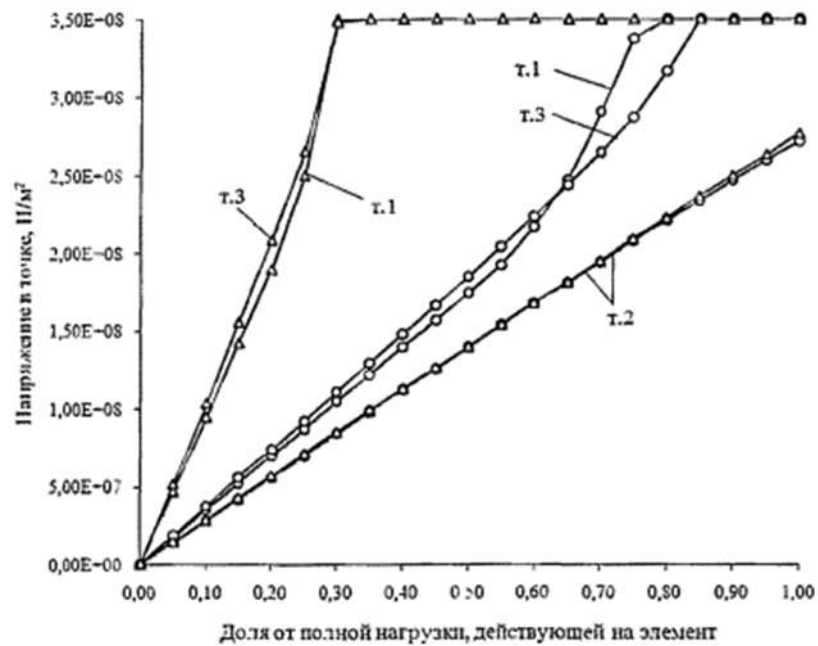


Рис. 1.16 Деформації в характерних стиках моделей з двотавра

## 1.8 Результати натурних вимірів відхилень елементів колон

Максимальні ексцентриситети від кута перелому осей зафіксовані для колон коробчастого перерізу, мінімальні - для двотаврових профілів у напрямку більшої жорсткості.

Велика величина кута перелому осей колон коробчастого перерізу порівняно з колонами двотаврового профілю обумовлена меншими значеннями довжин відправних марок (не більше двох поверхів).

Відправні елементи колон двотаврового профілю виготовляються завдовжки 3 - 4 поверхи.

Максимальний ексцентриситет від неточності суміщення перерізів відповідає двотавровим колонам у площині меншої жорсткості, а мінімальний - у площині більшої жорсткості.

Ексцентриситет у стику коробчастих профілів можна порівняти з ексцентриситетом у площині меншої жорсткості та більш ніж у 2,4 рази, перевищує ексцентриситет у площині більшої жорсткості двотаврових колон. Це зумовлено тим, що накладки на полицях двотаврових колон є кондуктором у

стику. Зменшити ексцентриситети в стиках можна за допомогою довгих відправних марок колон і фіксуючих накладок на болтах.

Результати вимірювань зазорів у стиках колон при неповному приляганні фрезерованих торців.

Мінімальна товщина підкладки дорівнює 0,5 мм.

Величини ексцентриситетів від розглянутих неточностей монтажу колон.

## 1.9 Оцінка впливу неточностей монтажу колон

### 1.9.1. Моделі

Розрахункові схеми є п'ятиповерховою стійкою постійної жорсткості, що показана на рис.1.17. Висота поверху 4,4м. У рівні кожного поверху стійка має пружнопіддатливі опори по двох основних осях профілю. У площині меншої жорсткості пружнопіддатливі опори моделюють наявність комбінованого сталезалізобетонного перекриття.

Товщина залізобетонного перекриття частини по незнімній опалубці з профільованого настилу становить 160 мм і виконується з бетону класу міцності В25.

У площині більшої жорсткості опори моделюють жорстке розкріплення колон об'язувальними балками перекриттів, що мають проліт 3,3 м і, як правило, виконуються з двотавра W30х99.

У рівні кожної опори до стійки прикладається зосереджена сила. У рівні верхньої опори прикладається сила величиною, яка визначається з умови несучої здатності стійки заданого перерізу.

|     |      |          |        |      |              |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------|------|
|     |      |          |        |      | ДКД 19202 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |              | 32   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |              |      |

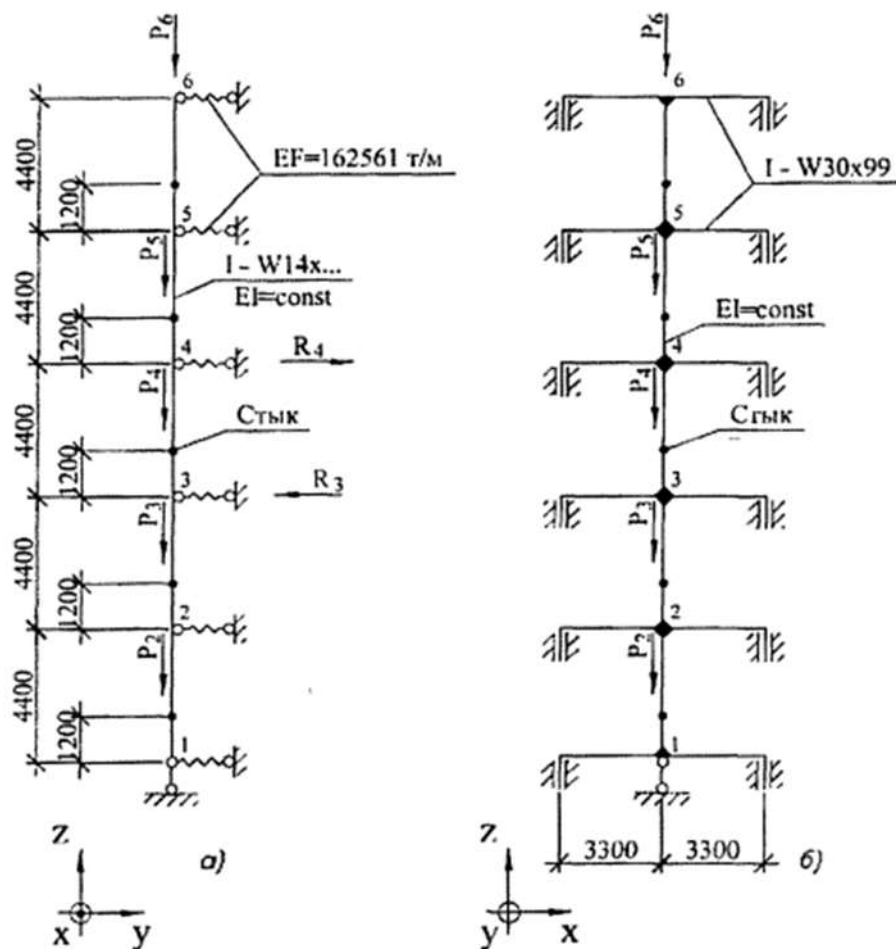


Рис. 1.7 Розрахункові схеми колон

### 1.9.2 Напруження в колонах

Зі збільшенням гнучкості колони напруження у ній зменшуються.

Ексцентриситети від неточного монтажу суттєво впливають на НДС колон висотних будівель. Фактичні величини недосконалостей перевищують величини, встановлені нормами при розрахунку, а також нормами приймання змонтованих колон і не враховують всі недосконалості, обумовлені конструктивними особливостями сучасних висотних будівель, а також особливостями висотного будівництва.

Облік ексцентриситету від неточного припасування фрезерованих торців практично не обґрунтований.

|     |      |          |        |      |              |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------|------|
|     |      |          |        |      | ДКД 19202 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |              | 33   |

## ОСНОВНІ ВИСНОВКИ

1. Вивчений характер роботи стику колон з неповним дотиком фрезерованих торців і частковим заповненням зазору, що утворився, підкладкою; розроблено методику обчислення ексцентриситету від цього виду недосконалості. Властивості матеріалів зварних швів та підкладок повинні бути близькими до властивостей матеріалу колони.

2. Величини відносних ексцентриситетів перевищують 0,05. Близькі до цього значення ексцентриситети утворюються в стиках з зазором, що залишається, 0,5мм заповненні підкладками на 80-95% від площі поперечного перерізу колони.

3. Для коробчатих та двотаврових колон площа їх торкання в стику становить 0,92 та 0,946 від площі бруто поперечного перерізу колони.

4. Величини ексцентриситету для розрахунку центрально-стислих стійок, прийнятої в сучасних нормативних документах, недостатньо для розрахунку сталевих колон висотних будівель. стикуються елементів..

5. При прийманні стику з фрезерованими торцями: «

- не допускається односторонній зазор між фрезерованими поверхнями в стиках колон понад 10 мм;

- Заповнення зазору необхідно здійснювати підкладками з листової або смугової сталі, аналогічною за фізико механічними характеристиками сталі колони;

- площа заповненого зазору має бути не менше 85% площі поперечного перерізу стійки;

- величина залишкового зазору має перевищувати 0,5 мм».

|     |      |          |        |      |              |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------|------|
|     |      |          |        |      | ДКД 19202 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |              | 34   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |              |      |

## Розділ 2

### МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

#### 2.1 Загальний алгоритм дослідження

Дослідження виконується засобами ПК SOLIDWORKS.

Алгоритм складається з наступних етапів:

1. Створення геометричної моделі.
2. Створення скінчено-елементної сітки.
3. Визначення властивостей матеріалу.
4. Визначення властивостей скінчених елементів.
5. Визначення кінематичних граничних умов.
6. Визначення силових граничних умов.
7. Вибір типу розрахунку, граничних умов, визначення параметрів розрахунку.
8. Налаштування параметрів нелінійного розрахунку.
9. Розрахунок конструкції.
10. Читання результатів розрахунку.
11. Перегляд результатів (побудова графіків, створення звітів).
12. Аналіз результатів.

#### 2.2 Побудова 3D моделі колони

Побудову моделі виконано для колони, складеної з двох колонних двотаврів К1 СТО АСЧМ 20-93 (рис. 2.1), згідно з розрахунковою схемою рис. 2.2.

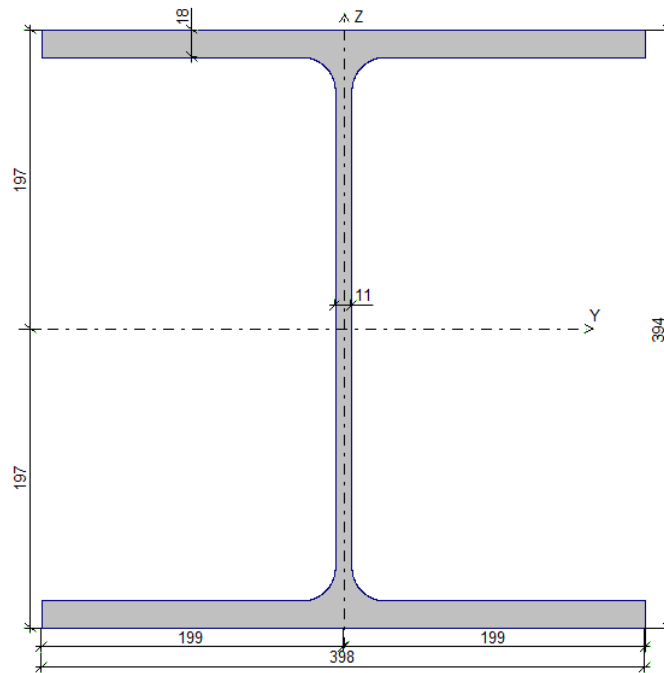


Рис. 2.1 Переріз двотавра К1

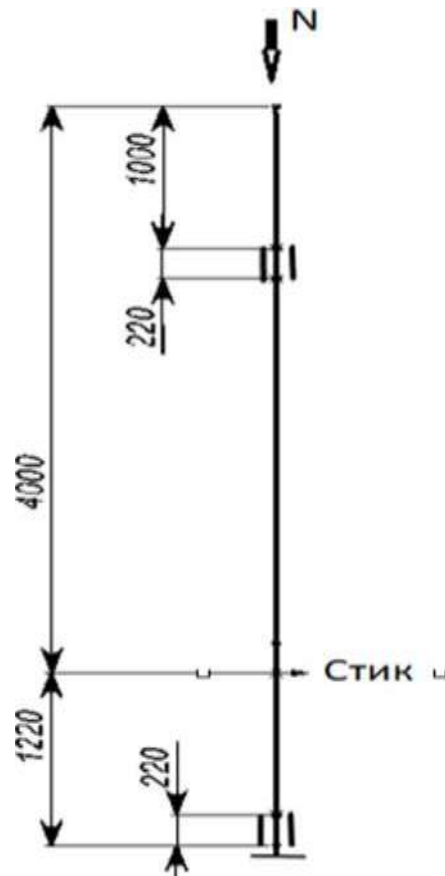


Рис. 2.2 Розрахункова схема колони

|     |      |          |        |      |
|-----|------|----------|--------|------|
|     |      |          |        |      |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

ДКД 19202 ПЗ

Арк.

36

1) Побудова колони зі стиком в площині максимальної жорсткості

.

1. Побудова ескізу колони (рис. 2.3)

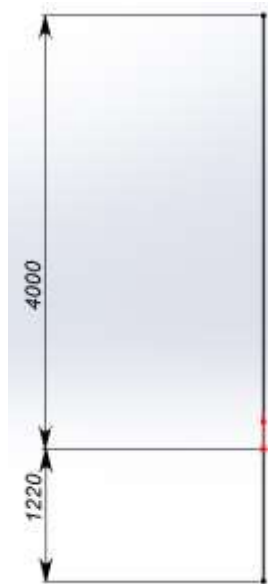


Рис. 2.3

2. Створення структурного елемента (рис. 2.4)

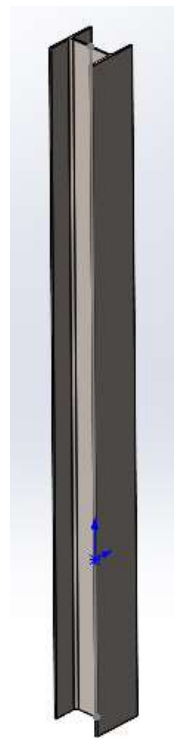


Рис. 2.4

|     |      |          |        |      |
|-----|------|----------|--------|------|
|     |      |          |        |      |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

ДКД 19202 ПЗ

Арк.

37

3. Побудова розділяючих ліній для закріплення ролика – повзуна (рис. 2.5)

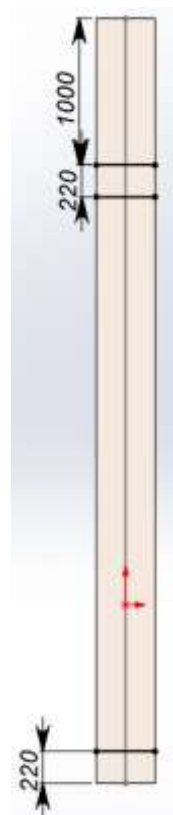


Рис. 2.5

4. Побудова ескізу стику (рис. 2.6)

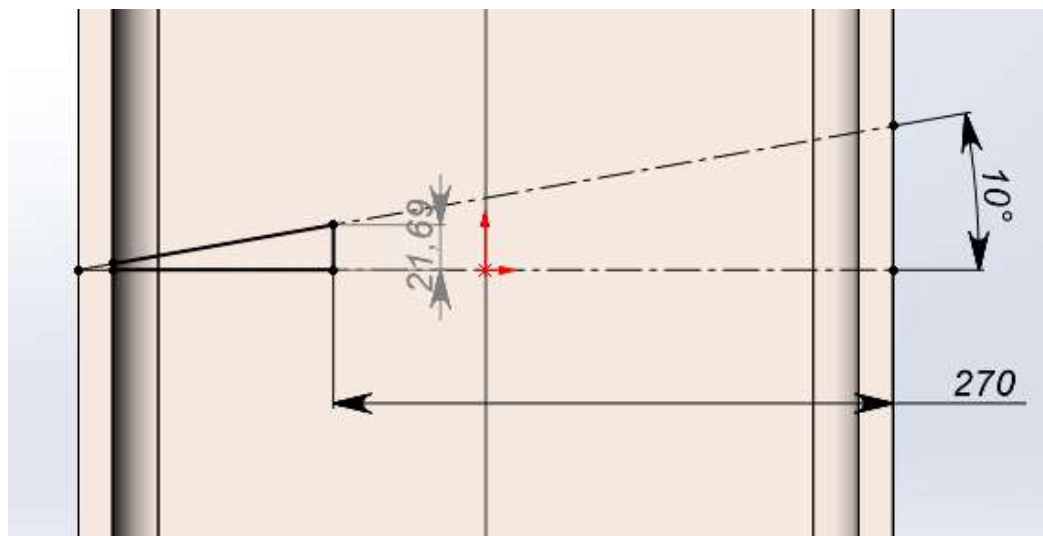


Рис. 2.6

|     |      |          |        |      |
|-----|------|----------|--------|------|
|     |      |          |        |      |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

ДКД 19202 ПЗ

Арк.

38

5. Побудова структурного елемента «стик» (рис. 2.7)

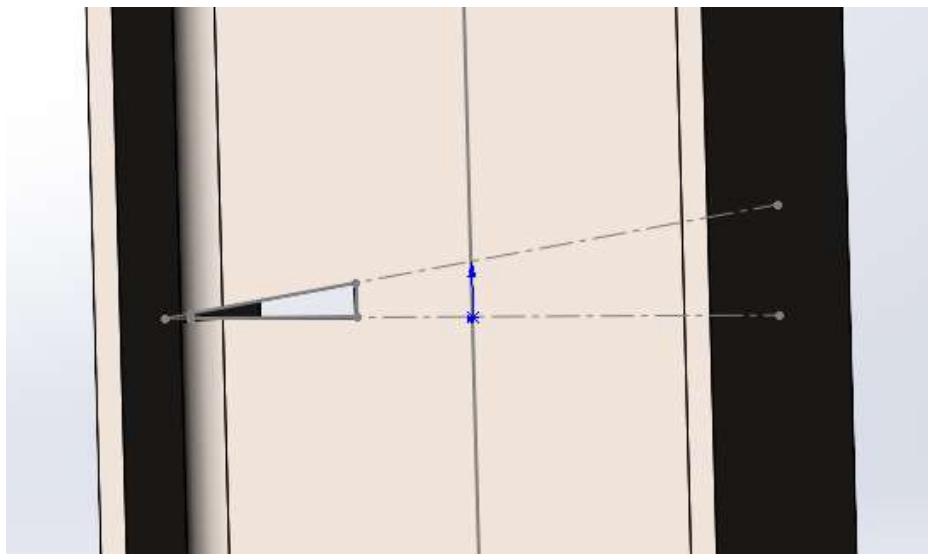


Рис. 2.7

6. Відокремлення тіла по площині симетрії максимальної жорсткості (рис. 2.8)

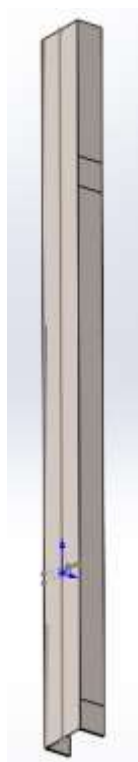


Рис. 2.8

|     |      |          |        |      |
|-----|------|----------|--------|------|
|     |      |          |        |      |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

ДКД 19202 ПЗ

Арк.

39

2) Побудова колони зі стиком в площині мінімальної жорсткості.  
п.п. 1 ... 3 – за варіантом 1).

1 Побудова ескізу стика (рис. 2.9)

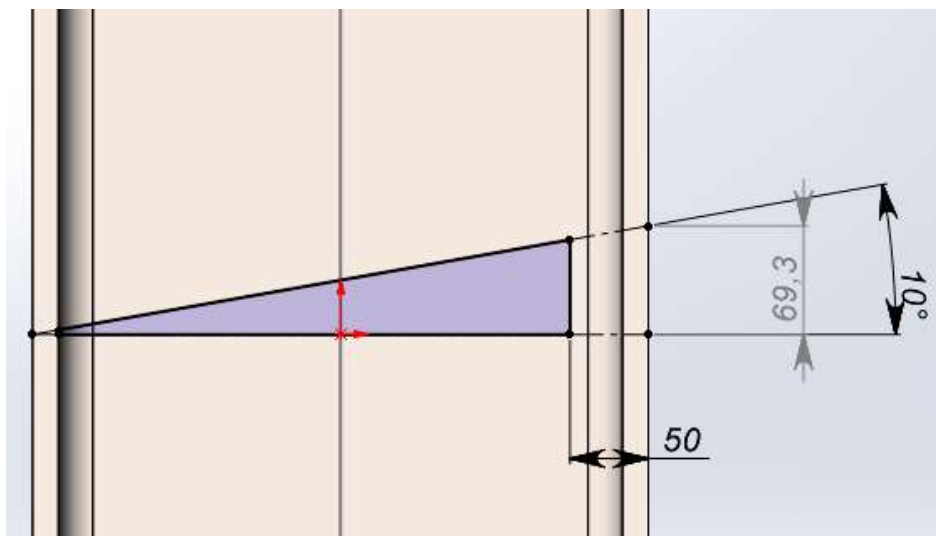


Рис. 2. 9

2 Побудова структурного елемента «стик» (рис. 2.10)

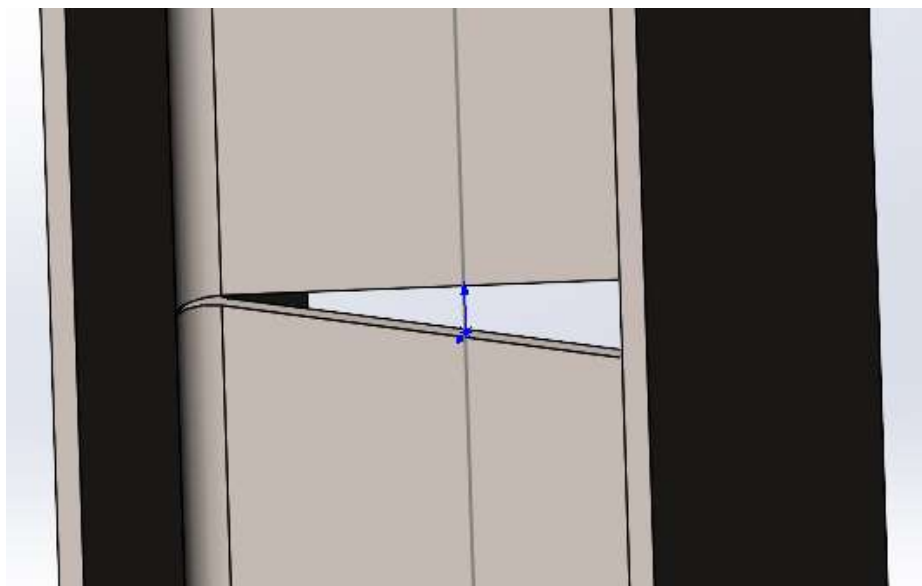


Рис. 2.10

3. Відокремлення тіла по площині симетрії мінімальної жорсткості (рис. 2.11)

|     |      |          |        |      |
|-----|------|----------|--------|------|
|     |      |          |        |      |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

ДКД 19202 ПЗ

Арк.

40

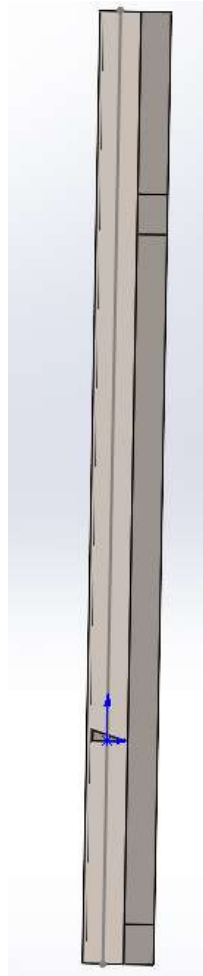


Рис. 2.11

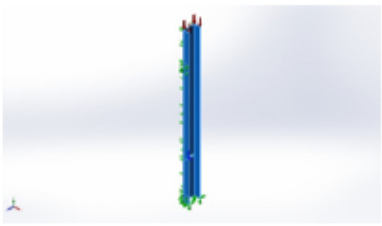
### 2.3 Дослідження НДС моделі

1. Матеріал деталі - "Легована сталь" (бібліотека матеріалів Solidworks materials). Тип моделі: тверде тіло.

Матеріал: пластичний von. Mises

$\sigma_T = 620,4$  МПа (по Mises) Табл. 2.1).

|     |      |          |        |      |              |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------|------|
|     |      |          |        |      | ДКД 19202 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |              | 41   |

| Ссылка на модель                                                                  | Свойства                         | Компоненты                        |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
|  | Имя:                             | Легированная сталь                |
|                                                                                   | Тип модели:                      | Пластичность - von Mises          |
|                                                                                   | Критерий прочности по умолчанию: | Максимальное напряжение von Mises |
|                                                                                   | Предел текучести:                | 6,20422e+08 N/m <sup>2</sup>      |
|                                                                                   | Модуль упругости:                | 2,1e+11 N/m <sup>2</sup>          |
|                                                                                   | Коэффициент Пуассона:            | 0,28                              |
|                                                                                   | Массовая плотность:              | 7 700 kg/m <sup>3</sup>           |
| Коэффициент теплового расширения:                                                 |                                  | 1,3e-05 /Kelvin                   |
| Твердое тело 1(Разделить1[1])(По стенке)                                          |                                  |                                   |

Данные кривой: N/A

Як критерій щодо закінчення розрахунку визначався момент виходу вертикального переміщення середини верхнього торця моделі на площадку плинності (рис. 2.20).

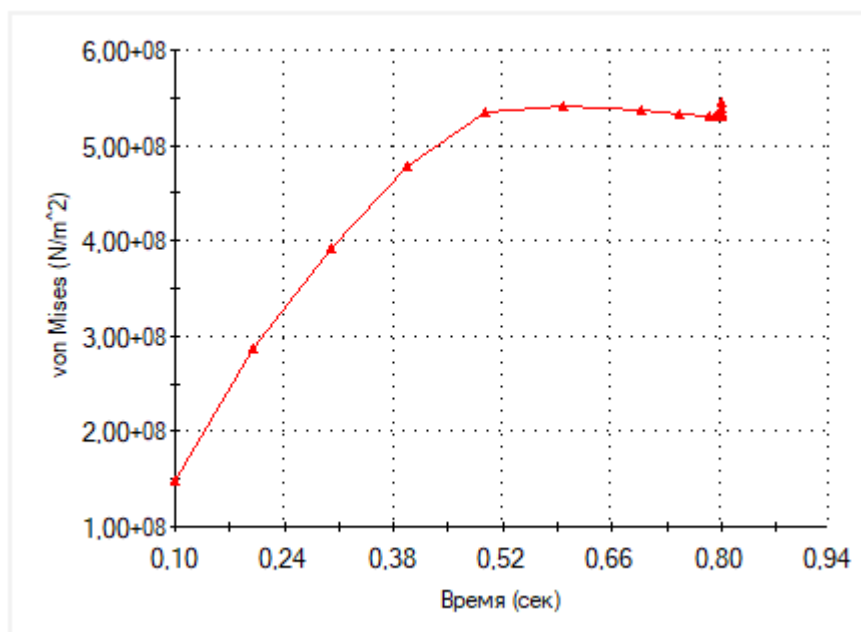


Рис. 2.20

|     |      |          |        |      |
|-----|------|----------|--------|------|
|     |      |          |        |      |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

ДКД 19202 ПЗ

Арк.

42

#### 4. Властивості дослідження (Табл. 2.1)

Табл. 2.1

|                                                 |                              |
|-------------------------------------------------|------------------------------|
| Имя исследования                                | Нелинейное 1                 |
| Тип анализа                                     | Нелинейное - Статический     |
| Тип сетки                                       | Сетка на твердом теле        |
| Время начала                                    | 0 Секунды                    |
| Время окончания                                 | 1 Секунды                    |
| Временной инкремент                             | Авто-шаг                     |
| Вычислить силы свободных тел                    | Выкл                         |
| Состав для большого смещения:                   | Вкл                          |
| Обновить направление нагрузки с отклонением:    | Выкл                         |
| Состав для большого натяжения:                  | Вкл                          |
| Сохранить данные для повторного запуска анализа | Выкл                         |
| Тепловой эффект:                                | Вкл                          |
| Термический параметр                            | Включить тепловые нагрузки   |
| Температура при нулевом напряжении              | 298 Kelvin                   |
| Тип решающей программы                          | &Large Problem Direct Sparse |
| Несовместимые параметры связи                   | Упрощенные                   |
| Метод управления:                               | Сила                         |
| Метод повторов:                                 | NR (Ньютон-Рафсон)           |
| Метод интеграции                                | Newmark                      |

#### 5. Інформація о кріпленнях (Табл. 2.2)

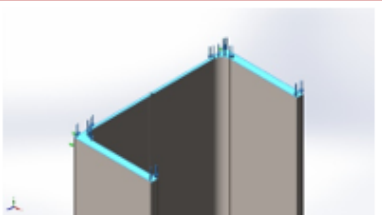
Табл. 2.2

| Тип кріплення          | Зображення кріплення                                                                | Деталь кріплення     |          |                   |
|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|----------|-------------------|
| Рухоме/підпору 1       |  | Область: 1 Деталь    |          |                   |
|                        |                                                                                     | Тип: Рухоме/підпору  |          |                   |
| Результаты расчета     |                                                                                     |                      |          |                   |
| Координаты             | X                                                                                   | Y                    | Z        | Результат расчета |
| Сила реакции(N)        | 10 201,4                                                                            | 148 306              | -494 171 | 551 737           |
| Поперечный момент(N.m) | 0                                                                                   | 0                    | 0        | 0                 |
| Зафиксированный 1      |  | Область: 1 Деталь    |          |                   |
|                        |                                                                                     | Тип: Зафиксированный |          |                   |
| Результаты расчета     |                                                                                     |                      |          |                   |
| Координаты             | X                                                                                   | Y                    | Z        | Результат расчета |
| Сила реакции(N)        | 196 115                                                                             | 4,17918e+06          | 207 147  | 4,40214e+06       |
| Поперечный момент(N.m) | 0                                                                                   | 0                    | 0        | 0                 |
| Симметричный 1         |  | Область: 1 Деталь    |          |                   |
|                        |                                                                                     | Тип: Симметричный    |          |                   |
| Результаты расчета     |                                                                                     |                      |          |                   |
| Координаты             | X                                                                                   | Y                    | Z        | Результат расчета |
| Сила реакции(N)        | 879 113                                                                             | 170 799              | -35 069  | 896 627           |
| Поперечный момент(N.m) | 0                                                                                   | 0                    | 0        | 0                 |

#### 6. Інформація о навантаженнях (Табл. 2.3)

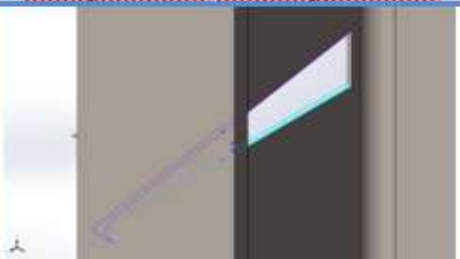
Табл. 2.3

|     |      |          |        |      |              |  |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------|--|------|
|     |      |          |        |      | ДКД 19202 ПЗ |  | Арк. |
|     |      |          |        |      |              |  | 43   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |              |  |      |

| Имя нагрузки       | Загрузить изображение                                                             | Загрузить данные                                                                                                                                                                                                                                                                                                |          |         |      |                                 |           |       |                    |              |            |   |                    |     |
|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|---------|------|---------------------------------|-----------|-------|--------------------|--------------|------------|---|--------------------|-----|
| Давление-1         |  | <table><tr><td>Объекты:</td><td>1 грани</td></tr><tr><td>Тип:</td><td>Перпендикулярно выбранной грани</td></tr><tr><td>Значение:</td><td>620,4</td></tr><tr><td>Единицы измерения:</td><td>N/mm^2 (MPa)</td></tr><tr><td>Угол фазы:</td><td>0</td></tr><tr><td>Единицы измерения:</td><td>deg</td></tr></table> | Объекты: | 1 грани | Тип: | Перпендикулярно выбранной грани | Значение: | 620,4 | Единицы измерения: | N/mm^2 (MPa) | Угол фазы: | 0 | Единицы измерения: | deg |
| Объекты:           | 1 грани                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |          |         |      |                                 |           |       |                    |              |            |   |                    |     |
| Тип:               | Перпендикулярно выбранной грани                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |          |         |      |                                 |           |       |                    |              |            |   |                    |     |
| Значение:          | 620,4                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |          |         |      |                                 |           |       |                    |              |            |   |                    |     |
| Единицы измерения: | N/mm^2 (MPa)                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |          |         |      |                                 |           |       |                    |              |            |   |                    |     |
| Угол фазы:         | 0                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |          |         |      |                                 |           |       |                    |              |            |   |                    |     |
| Единицы измерения: | deg                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |          |         |      |                                 |           |       |                    |              |            |   |                    |     |

## 7. Інформація о взаємодії (Табл. 2.4)

Табл. 2.4

| Взаимодействие             | Изображение взаимодействия                                                         | Свойства взаимодействия                                                                                                                                                                 |      |                              |          |         |                |                            |
|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------------------------------|----------|---------|----------------|----------------------------|
| Локальное взаимодействие-1 |  | <table><tr><td>Тип:</td><td>Пара взаимодействия контакта</td></tr><tr><td>Объекты:</td><td>2 грани</td></tr><tr><td>Дополнительно:</td><td>Поверхность с поверхностью</td></tr></table> | Тип: | Пара взаимодействия контакта | Объекты: | 2 грани | Дополнительно: | Поверхность с поверхностью |
| Тип:                       | Пара взаимодействия контакта                                                       |                                                                                                                                                                                         |      |                              |          |         |                |                            |
| Объекты:                   | 2 грани                                                                            |                                                                                                                                                                                         |      |                              |          |         |                |                            |
| Дополнительно:             | Поверхность с поверхностью                                                         |                                                                                                                                                                                         |      |                              |          |         |                |                            |

## 8. Інформація о сітці (Табл. 2.5)

Табл. 2.5

|                                            |                                    |
|--------------------------------------------|------------------------------------|
| Тип сетки                                  | Сетка на твердом теле              |
| Используемое разбиение:                    | Сетка на основе смешанной кривизны |
| Точки Якобиана для сетки высокого качества | 16 Точки                           |
| Максимальный размер элемента               | 228,276 mm                         |
| Минимальный размер элемента                | 45,6553 mm                         |
| Качество сетки                             | Высокая                            |

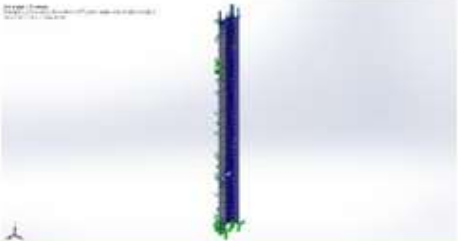
### Информация о сетке - Детализация

|                                              |          |
|----------------------------------------------|----------|
| Всего узлов                                  | 30960    |
| Всего элементов                              | 16348    |
| Максимальное соотношение сторон              | 193,4    |
| % элементов с соотношением сторон < 3        | 11,7     |
| Процент элементов с соотношением сторон > 10 | 38       |
| Процент искаженных элементов                 | 0        |
| Время для завершения сетки (hh:mm:ss):       | 00:00:05 |
| Имя компьютера:                              |          |

|     |      |          |        |      |              |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------|------|
|     |      |          |        |      | ДКД 19202 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |              | 44   |

## 9. Інформація о керуванні сіткою (Табл. 2.6)

Табл. 2.6

| Имя управления сеткой | Изображение управления сеткой                                                      | Сведения об управлении сеткой                                                                                                                                                                 |          |         |                    |    |         |         |            |         |
|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|---------|--------------------|----|---------|---------|------------|---------|
| Управление-2          |  | <table><tr><td>Объекты:</td><td>2 грани</td></tr><tr><td>Единицы измерения:</td><td>mm</td></tr><tr><td>Размер:</td><td>28,5345</td></tr><tr><td>Пропорция:</td><td>28,5345</td></tr></table> | Объекты: | 2 грани | Единицы измерения: | mm | Размер: | 28,5345 | Пропорция: | 28,5345 |
| Объекты:              | 2 грани                                                                            |                                                                                                                                                                                               |          |         |                    |    |         |         |            |         |
| Единицы измерения:    | mm                                                                                 |                                                                                                                                                                                               |          |         |                    |    |         |         |            |         |
| Размер:               | 28,5345                                                                            |                                                                                                                                                                                               |          |         |                    |    |         |         |            |         |
| Пропорция:            | 28,5345                                                                            |                                                                                                                                                                                               |          |         |                    |    |         |         |            |         |
| Управление-3          |  | <table><tr><td>Объекты:</td><td>3 грани</td></tr><tr><td>Единицы измерения:</td><td>mm</td></tr><tr><td>Размер:</td><td>22,8276</td></tr><tr><td>Пропорция:</td><td>22,8276</td></tr></table> | Объекты: | 3 грани | Единицы измерения: | mm | Размер: | 22,8276 | Пропорция: | 22,8276 |
| Объекты:              | 3 грани                                                                            |                                                                                                                                                                                               |          |         |                    |    |         |         |            |         |
| Единицы измерения:    | mm                                                                                 |                                                                                                                                                                                               |          |         |                    |    |         |         |            |         |
| Размер:               | 22,8276                                                                            |                                                                                                                                                                                               |          |         |                    |    |         |         |            |         |
| Пропорция:            | 22,8276                                                                            |                                                                                                                                                                                               |          |         |                    |    |         |         |            |         |

Напружено – деформований стан моделей визначалася за допомогою додатку SLIDWORKS SIMULATION «Нелінійний аналіз» для двох варіантів моделі.

- №1. Клиновидний стик в площині максимальної жорсткості перерізу.
- №2 Клиновидний стик в площині мінімальної жорсткості перерізу.

Змінні параметри (рис. 2.21, 2.22):

- кут між торцями стика  $\alpha$ ;
- довжина прокладки L.

Визначалася величина вертикальної реакції опори при зупинці розрахунку (при незмінному значенні навантаження переміщення в перерізі моделі збільшуються).

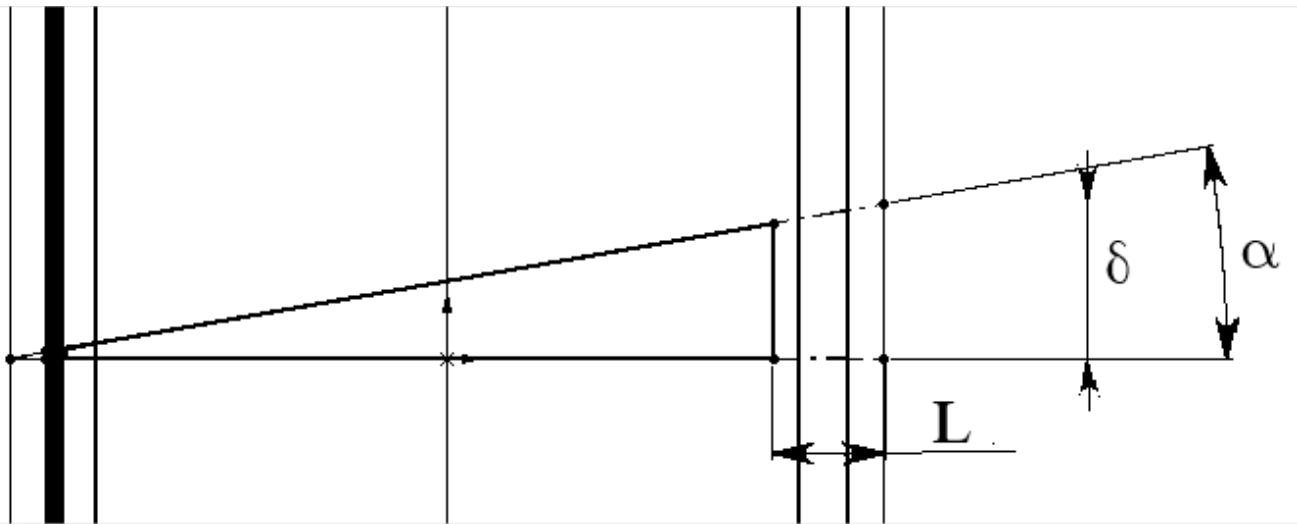


Рис. 2.21 Клиновидный зазор в плоскости максимальной жесткости

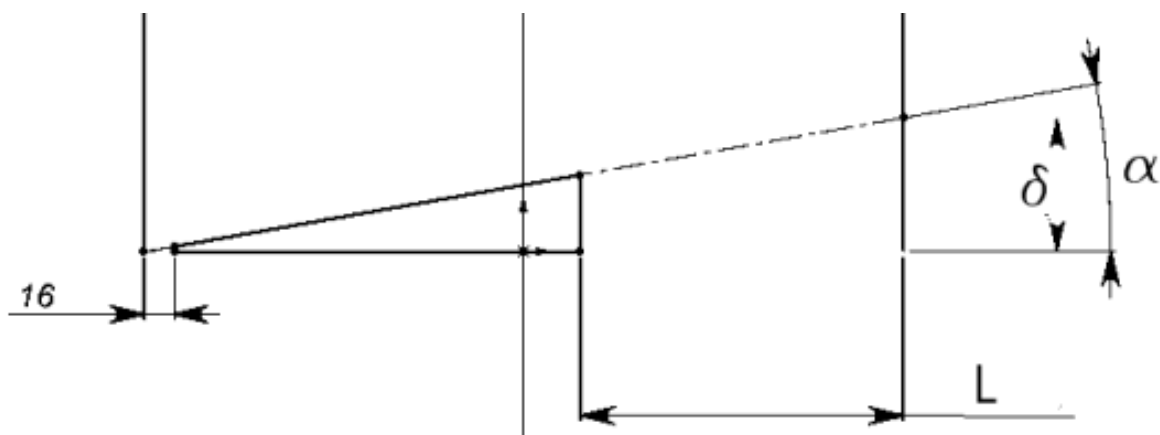


Рис. 2.22 Клиновидный зазор в плоскости минимальной жесткости

## Розділ 3

### РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

#### 3.1 Дослідження моделі з клиновидним зазором в площині максимальної жорсткості

Визначалася залежність значення тиску на верхній торець колони при зупиненні розрахунку від параметрів клинового зазору (рис.2.21).

Досліджувалася закономірність зміни показника відношення  $K = \frac{P}{\sigma_T}$

1. Тестовий запуск розрахунку моделі.

$\alpha = 10^\circ$ ,  $L = 18\text{мм}$ . Відповідає відсутності прокладки. З'єднання полк – зварювання з повним проваром.

Сітка в клиновидному зазорі показана на рис. 3.1

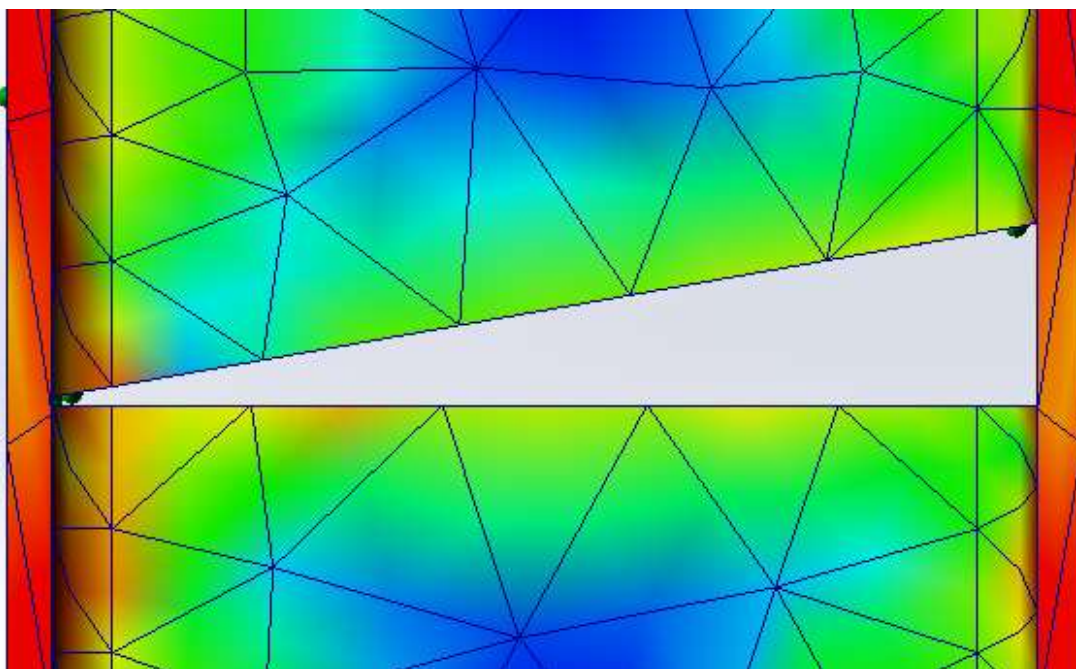


Рис. 3.1

Обидві полки знаходяться в зоні утворення пластичних шарнірів (рис. 3.2).

|     |      |          |        |      |
|-----|------|----------|--------|------|
|     |      |          |        |      |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

ДКД 19202 ПЗ

Арк.

47

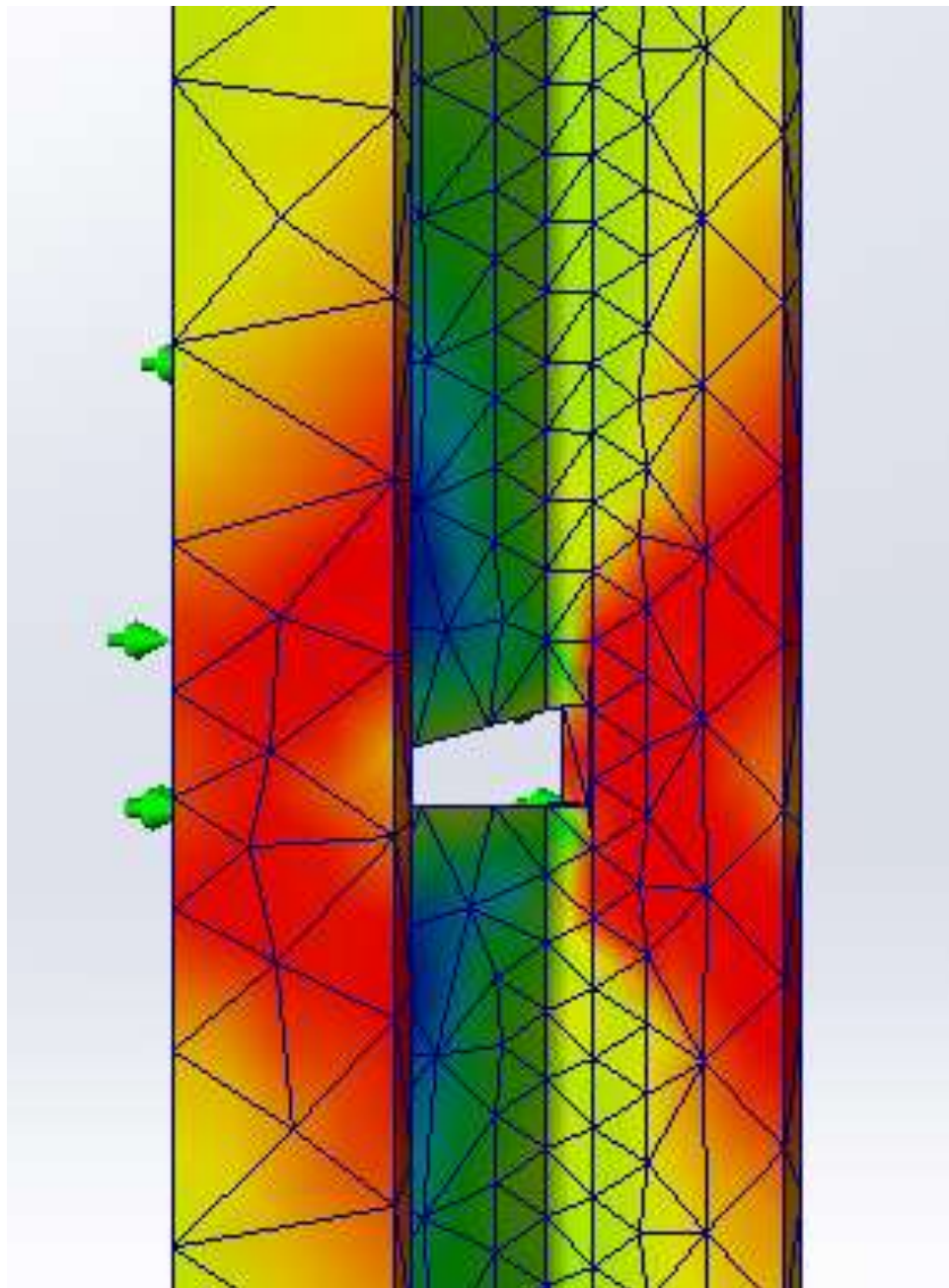


Рис. 3.2

$K = 0,78$ , що відповідає відношенню площини полук до повній площі перерізу двотавра:

$$\frac{A_f}{A_f + A_w} = \frac{6614}{8788} = 0.77$$

При малому куту  $\alpha$  управління сіткою повинно надати результат  $K \approx 1,0$ .

Для  $\alpha = 0,1^\circ$ ;  $L = 18\text{мм}$ ;  $K = 0,998$  (рис.3.3, 3.4)

|     |      |          |        |      |
|-----|------|----------|--------|------|
|     |      |          |        |      |
|     |      |          |        |      |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

ДКД 19202 ПЗ

Арк.

48

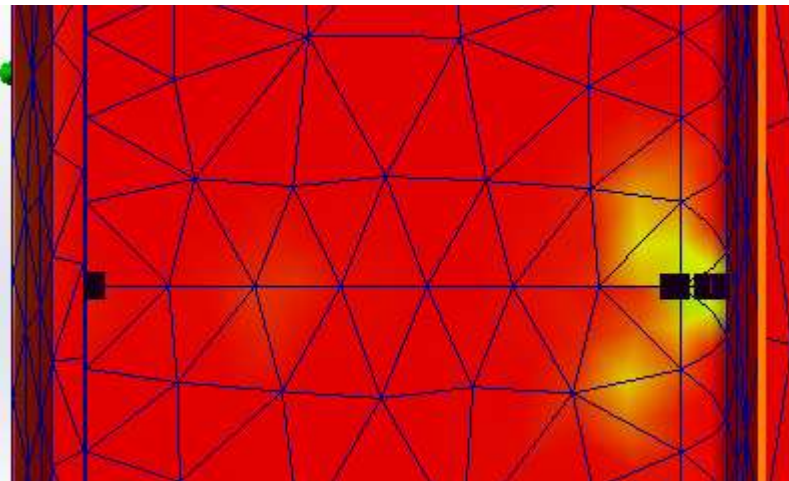
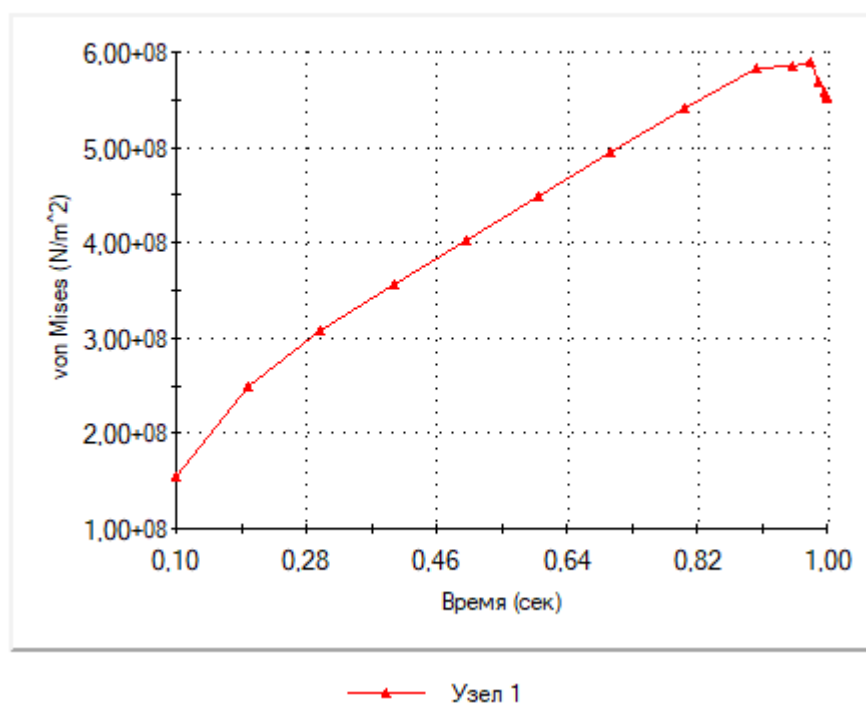


Рис. 3.3

### Нелинейная реакция



Для  $\alpha = 0,2^\circ$ ;  $L = 18\text{мм}$ ;  $K = 0,997$  (рис.3.5, 3.6)

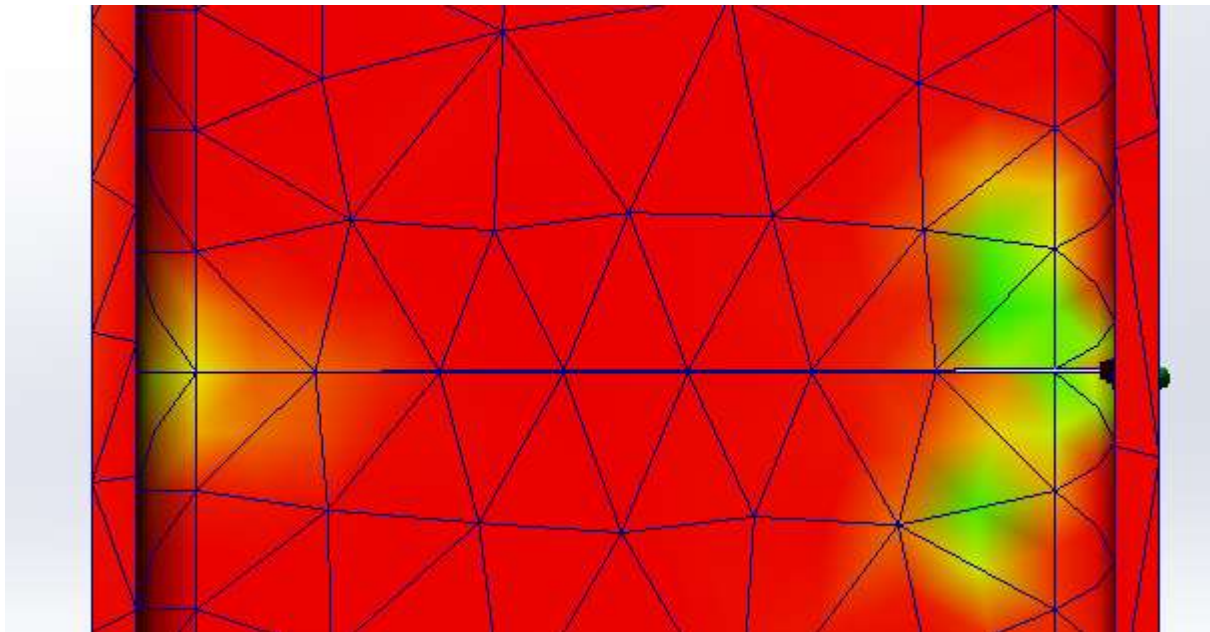


Рис. 3.5

### Нелинейная реакция

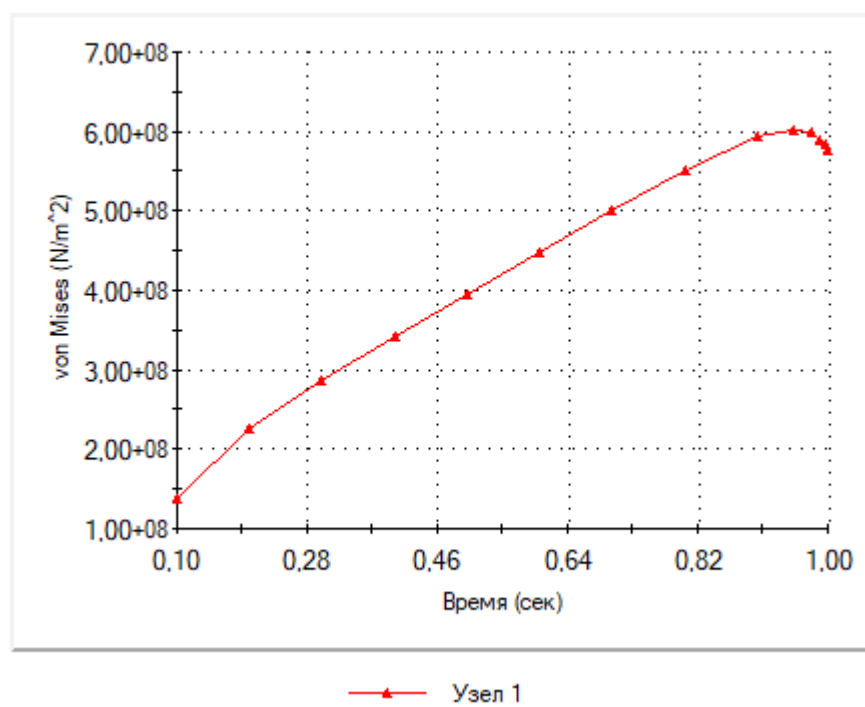


Рис. 3.6

Для  $\alpha = 0,5^\circ$ ;  $L = 18\text{мм}$ ;  $K = 0,993$  (рис.3.7, 3.8)

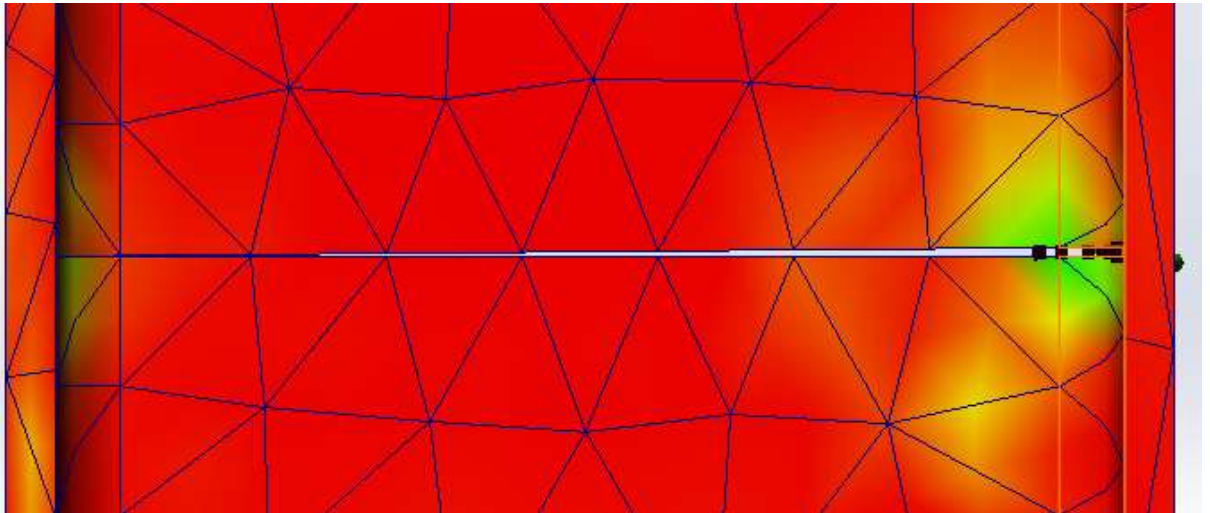


Рис. 3.7

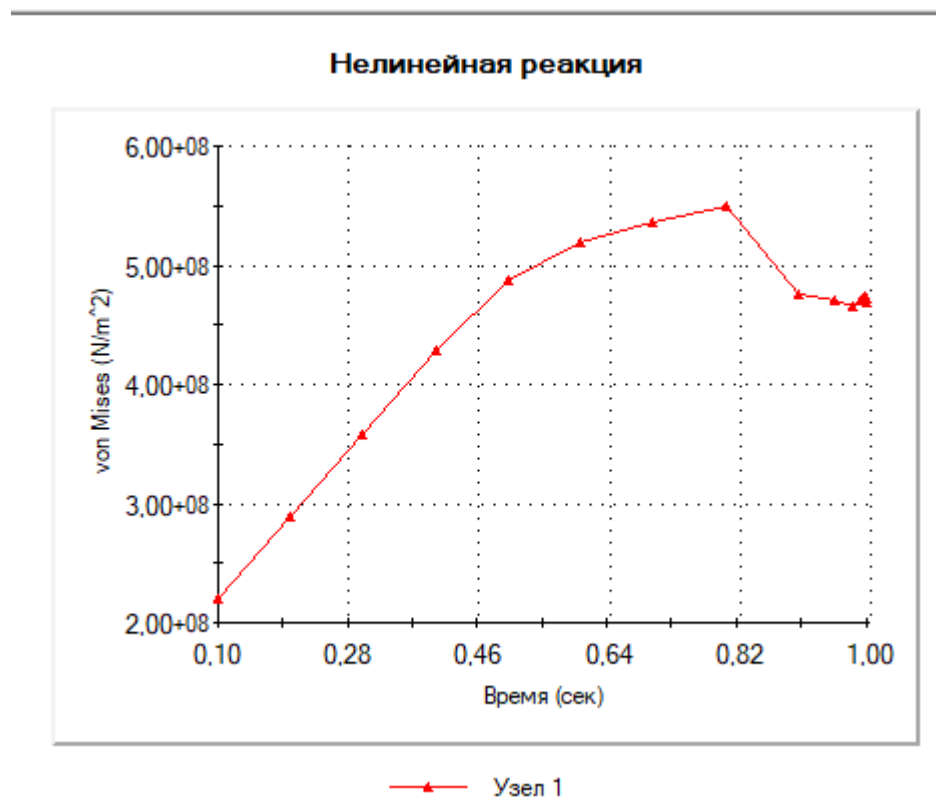


Рис. 3.8

Для  $\alpha = 1,0^\circ$ ;  $L = 18\text{мм}$ ;  $K = 0,96$  (рис.3.9, 3.10)

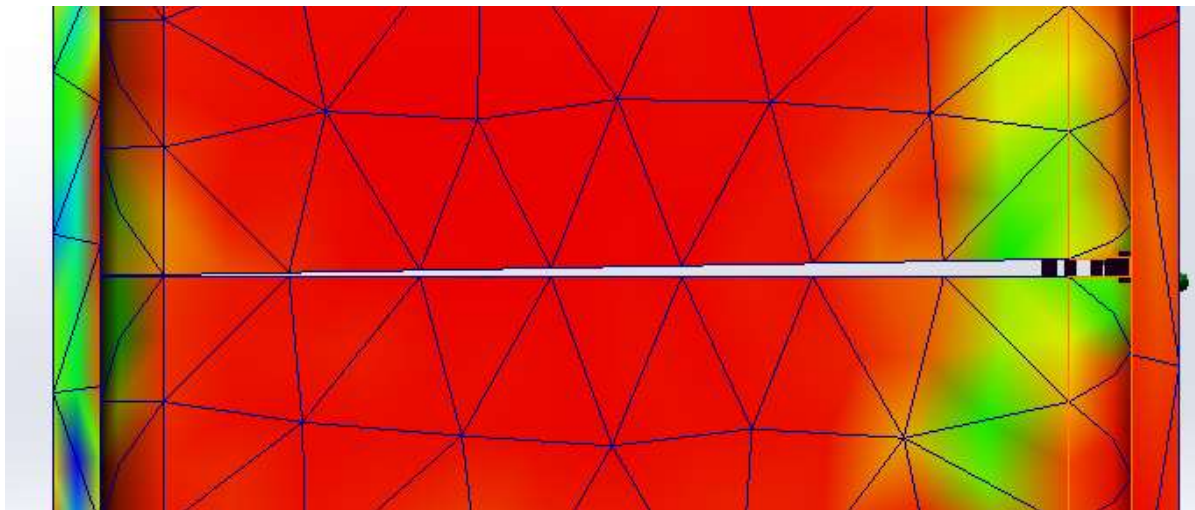


Рис. 3.9

### Нелинейная реакция

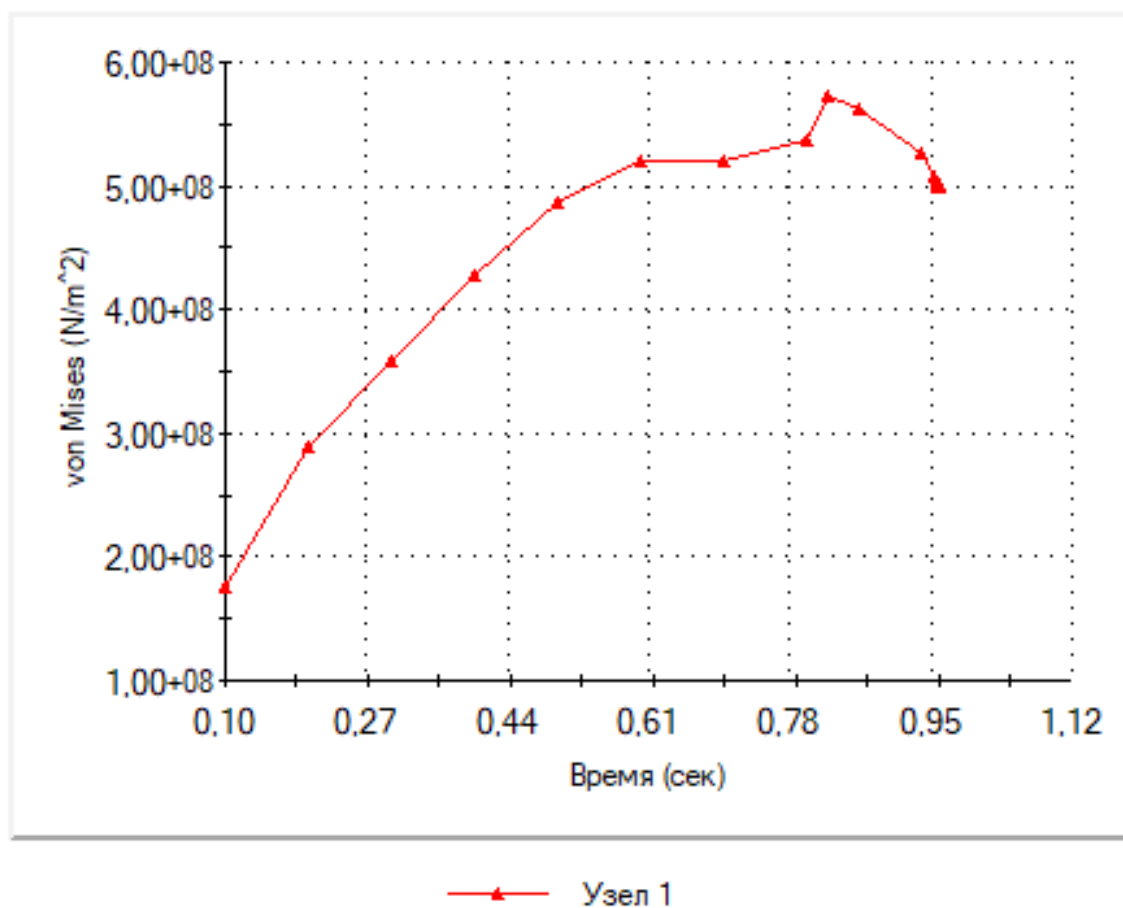


Рис. 3.10

Для  $\alpha = 1,5^\circ$ ;  $L = 18\text{мм}$ ;  $K = 0,936$  (рис.3.11, 3.12)

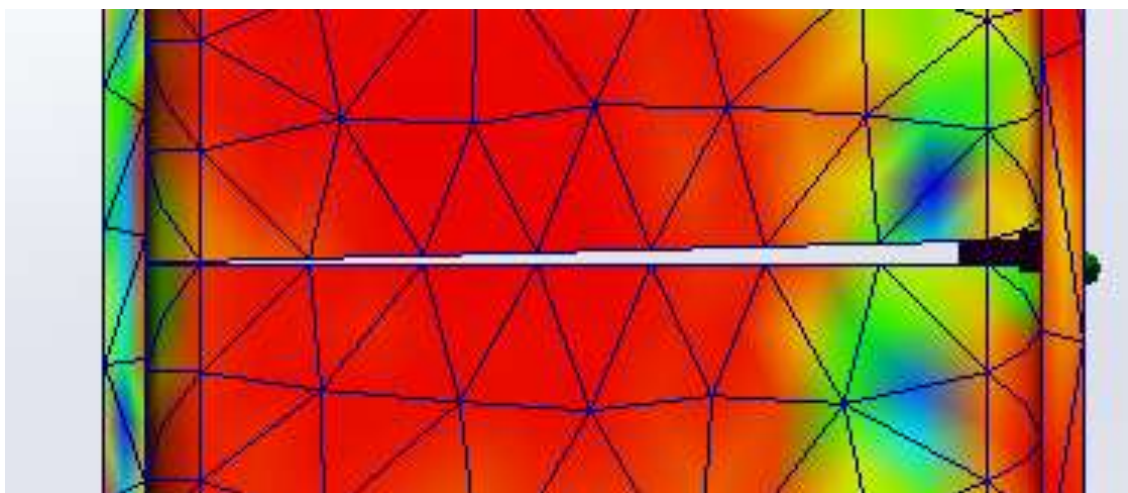


Рис. 3.11

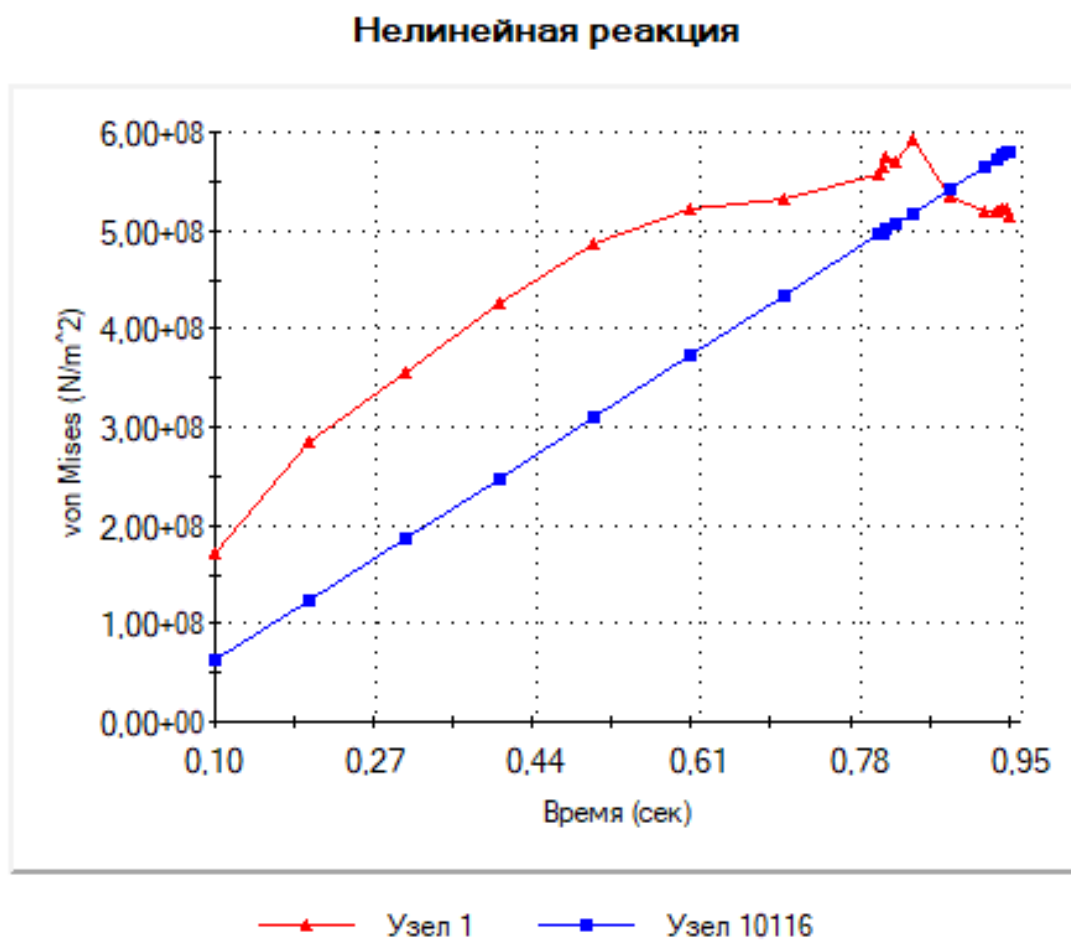


Рис. 3.12

Для  $\alpha = 3^\circ$ ;  $L = 18\text{мм}$ ;  $K = 0,884$  (рис.3.13, 3.14)

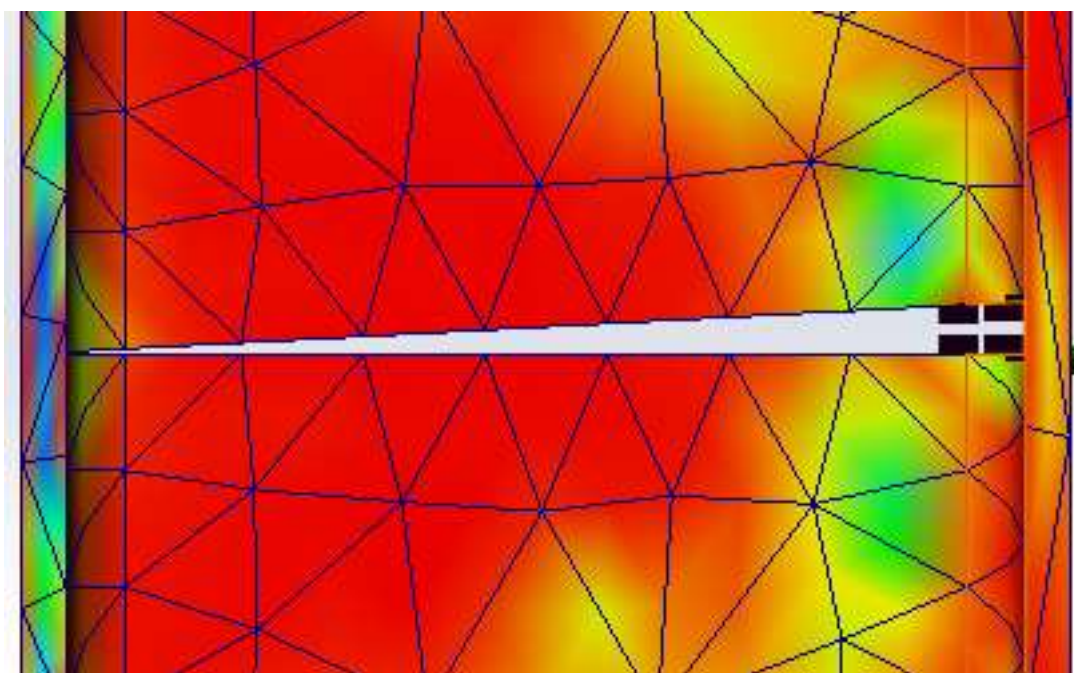


Рис. 3.13

### Нелинейная реакция

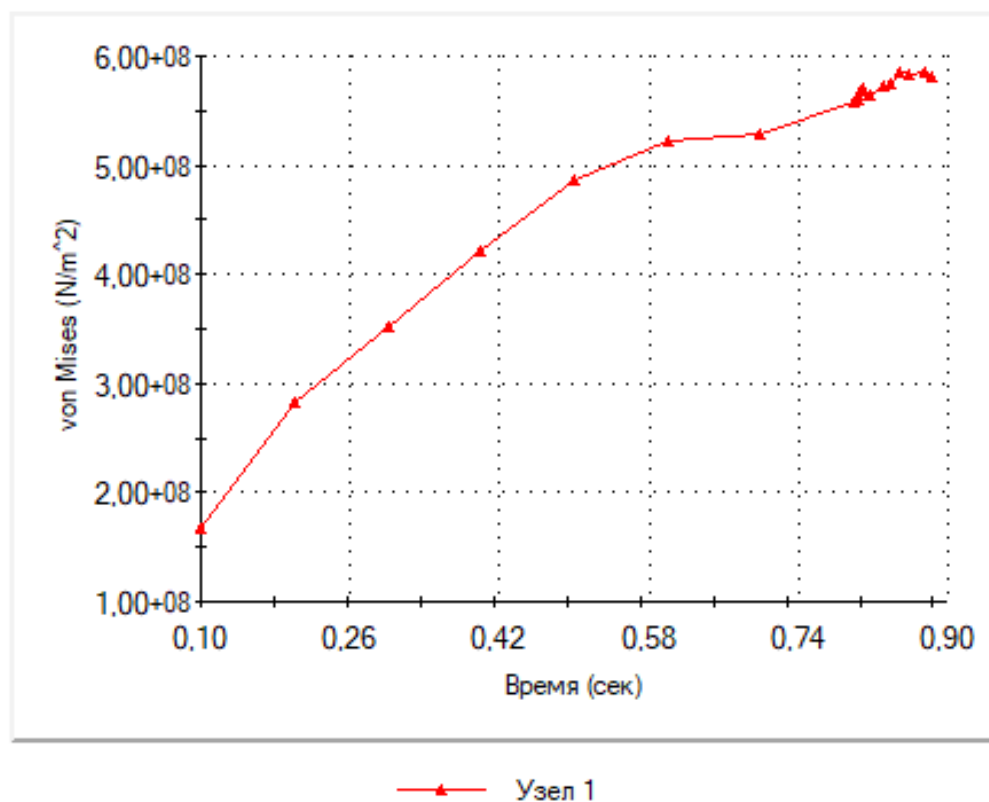


Рис. 3.14

|     |      |          |        |      |
|-----|------|----------|--------|------|
|     |      |          |        |      |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

ДКД 19202 ПЗ

Арк.

54

Для  $\alpha = 3^\circ$ ;  $L = 1140\text{мм}$ ;  $K = 0,9$  (рис.3.15, 3.16)

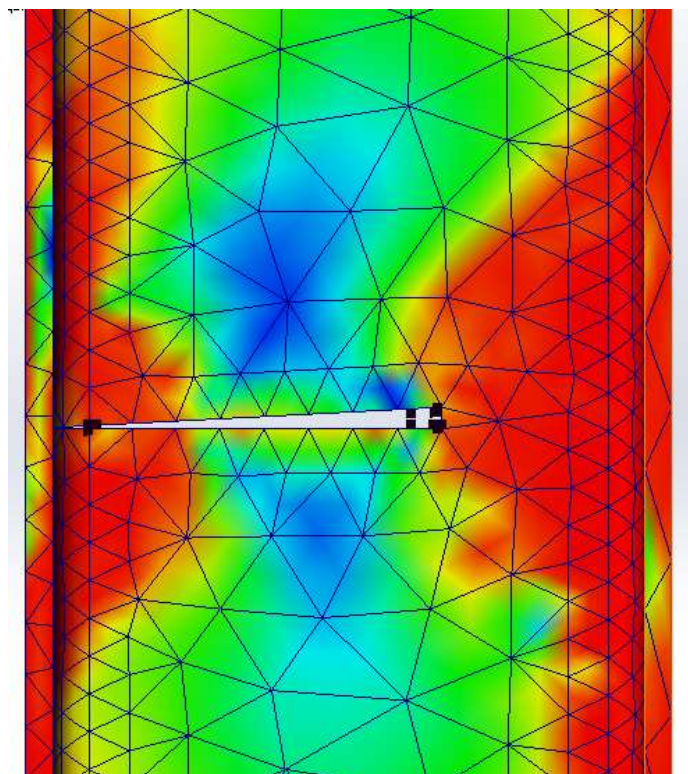


Рис. 3.17

### Нелинейная реакция

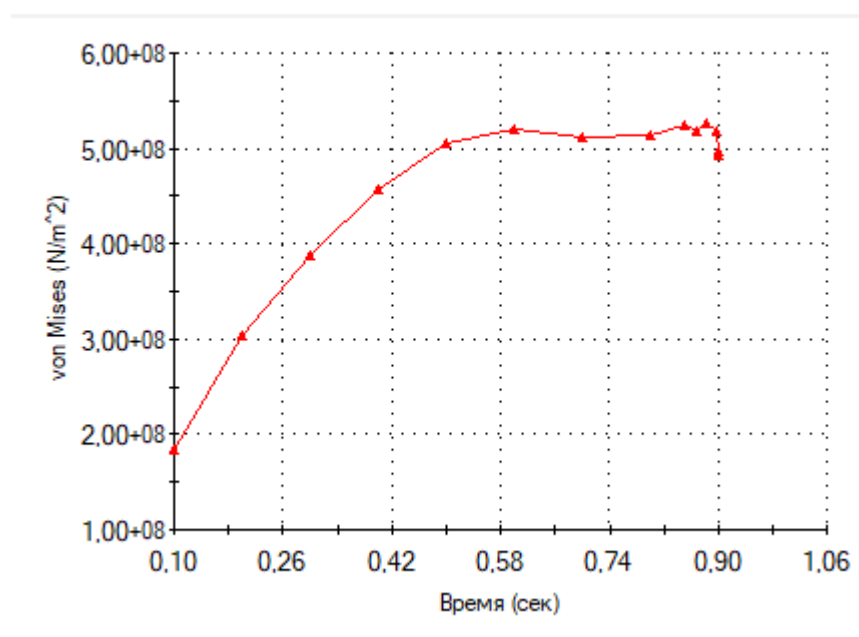


Рис. 3.18

ДКД 19202 ПЗ

Арк.

55

|     |      |          |        |      |
|-----|------|----------|--------|------|
|     |      |          |        |      |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

Для  $\alpha = 1,5^\circ$ ;  $L = 295\text{мм}$ ;  $K = 0,977$  (рис.3.19, 3.20)



Рис. 3.19

#### Нелинейная реакция

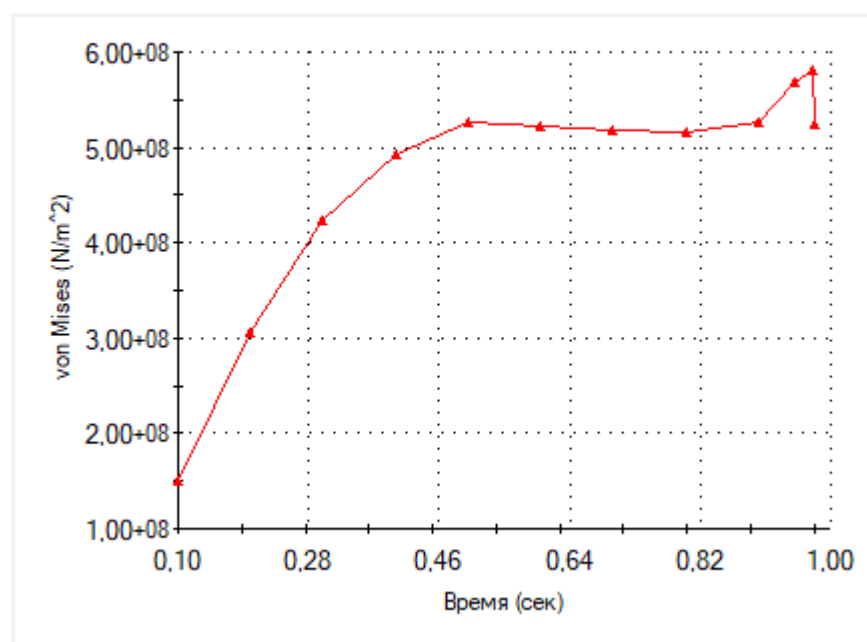


Рис. 3.20

Результати даних з дослідження моделі зі стиком в площині максимальної жорсткості

1. Більшому значенню  $\alpha$  відповідає менше значення  $K$  (рис. 3.21).
2. Більшому значенню  $L$  відповідає більше значення  $K$ .

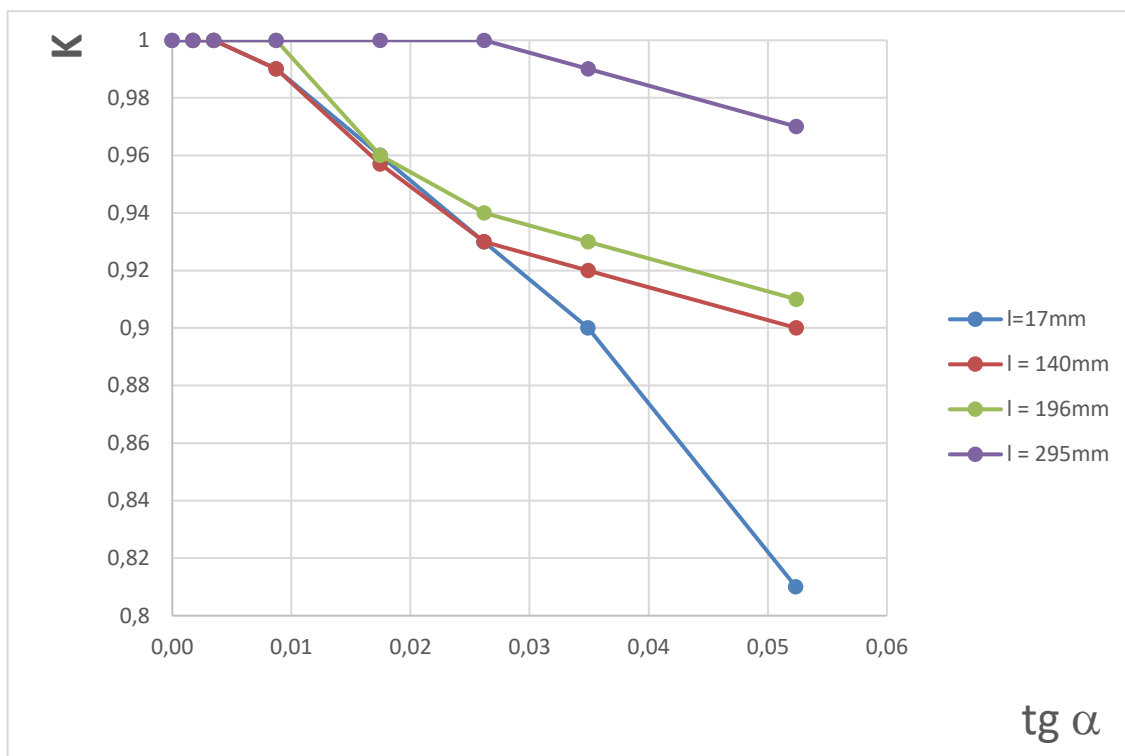


Рис. 3.21

### 3.2 Дослідження моделі з клиновидним зазором в площині максимальної жорсткості

Визначалася залежність значення тиску на верхній торець колони при зупиненні розрахунку від параметрів клинового зазору (рис.2.22).

Досліджувалася закономірність зміни показника відношення  $K = \frac{p}{\sigma_T}$

2. Тестовий запуск розрахунку моделі.

$\alpha = 10^\circ$ ,  $L = 16\text{мм}$ . Відповідає відсутності прокладки. З'єднання полук – зварювання з повним проваром.

Сітка в клиновидному зазорі показана на рис. 3.22

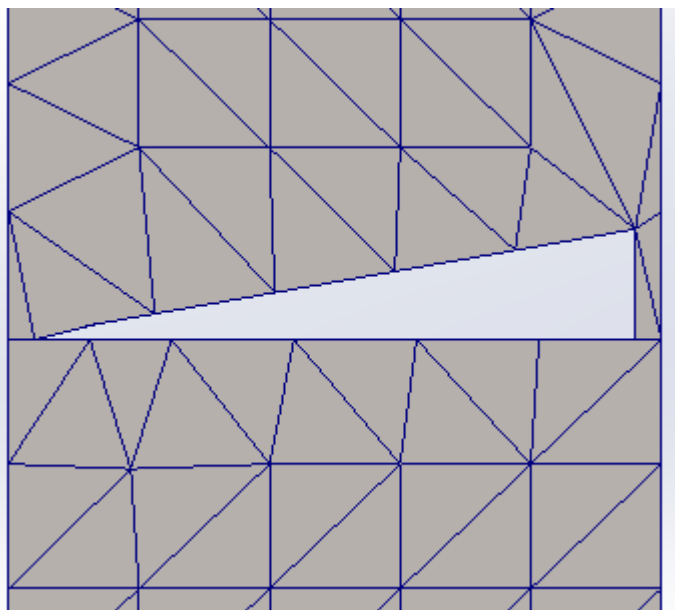


Рис. 3.22

Обидві полки знаходяться в зоні утворення пластичних шарнірів (рис. 3.23).

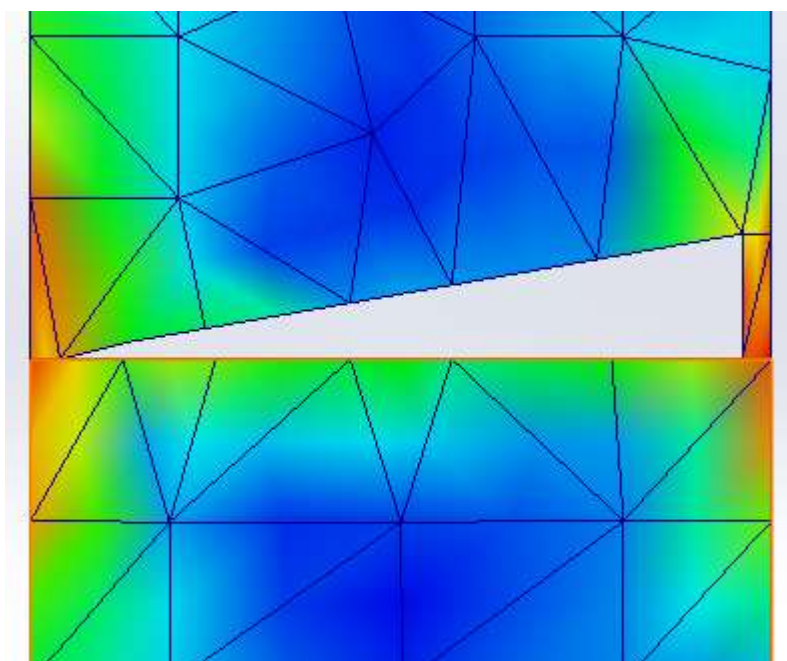


Рис. 3.23

$K = 0,13$ , що відповідає відношенню площини полок до повній площі перерізу двотавра:

$$\frac{A_f}{A_f + A_w} = \frac{528}{8788} = 0.06$$

При малому куту  $\alpha$  управління сіткою повинно надати результат  $K \approx 1,0$ .

Для  $\alpha = 0,1^\circ$ ;  $L = 18\text{мм}$ ;  $K = 0,998$  (рис.3.24, 3.25)

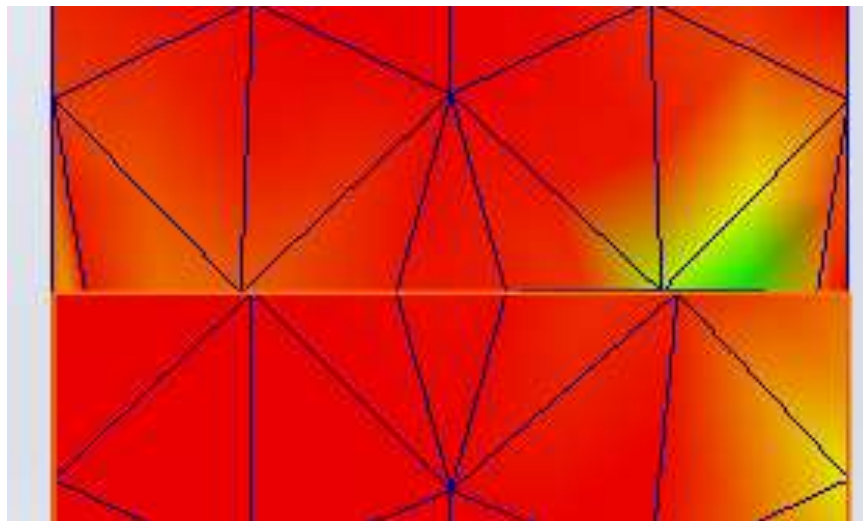


Рис. 3.24

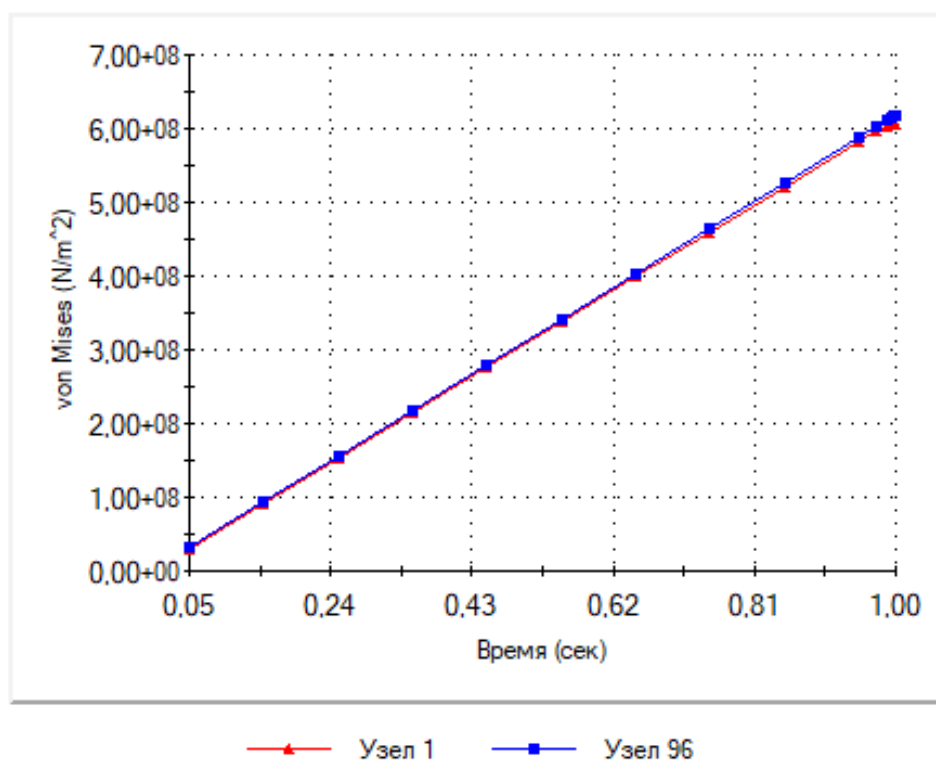


Рис. 3.25

Для  $\alpha = 3^\circ$ ;  $L = 100\text{мм}$ ;  $K = 0,7$  (рис.3.26 )

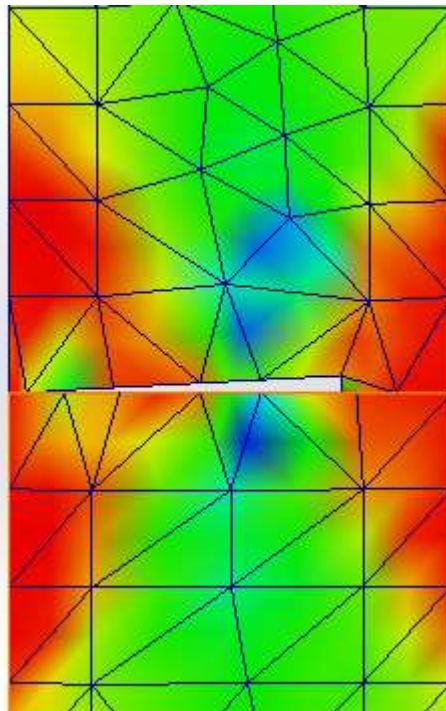


Рис. 3.26

Для  $\alpha = 0,5^\circ$ ;  $L = 100\text{мм}$ ;  $K = 0,95$  (рис.3.27 )

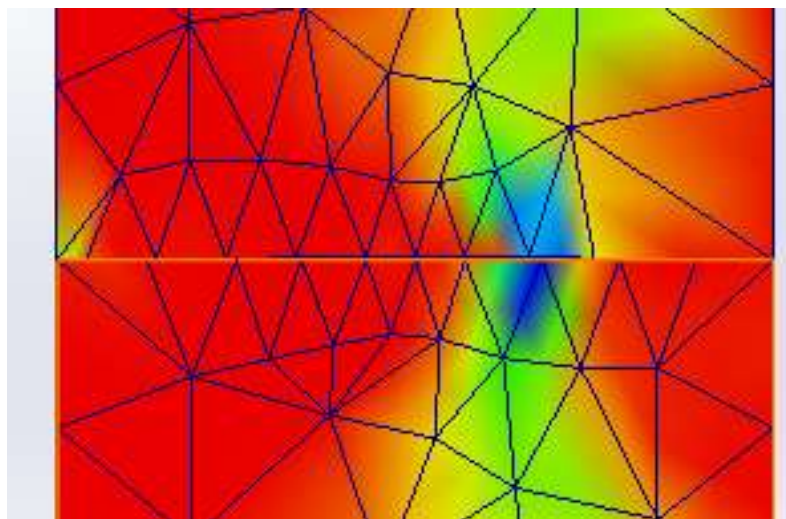


Рис. 3.27

Результати даних з дослідження моделі зі стиком в площині мінімальної жорсткості:

1. Більшому значенню  $\alpha$  відповідає менше значення  $K$  (рис. 3.28).

2. Більшому значенню  $L$  відповідає більше значення  $K$ .

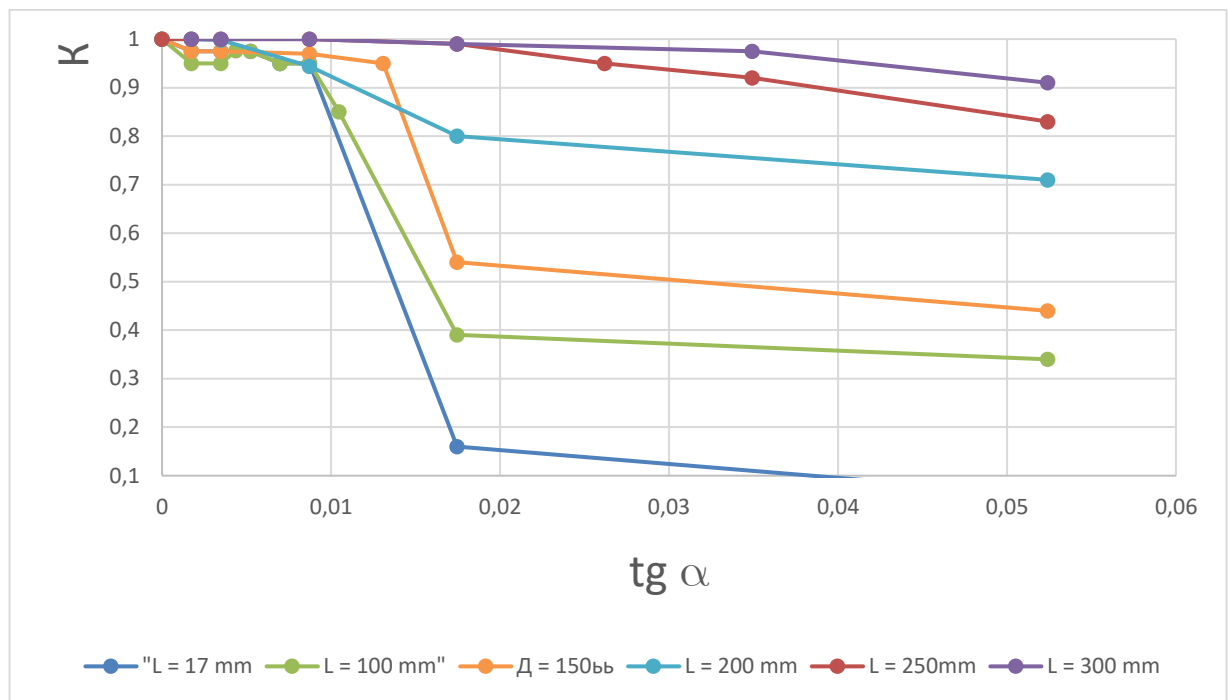


Рис. 3.28

### 3.4 Висновки з розділу

3.4.1 Для стику в площині максимальної жорсткості перерізу двотавра  $K1$ :

1. Несуча здібність колони залежить як від величини зазору  $\delta$ , так і від довжини підкладки  $L$  (рис. 3.29).

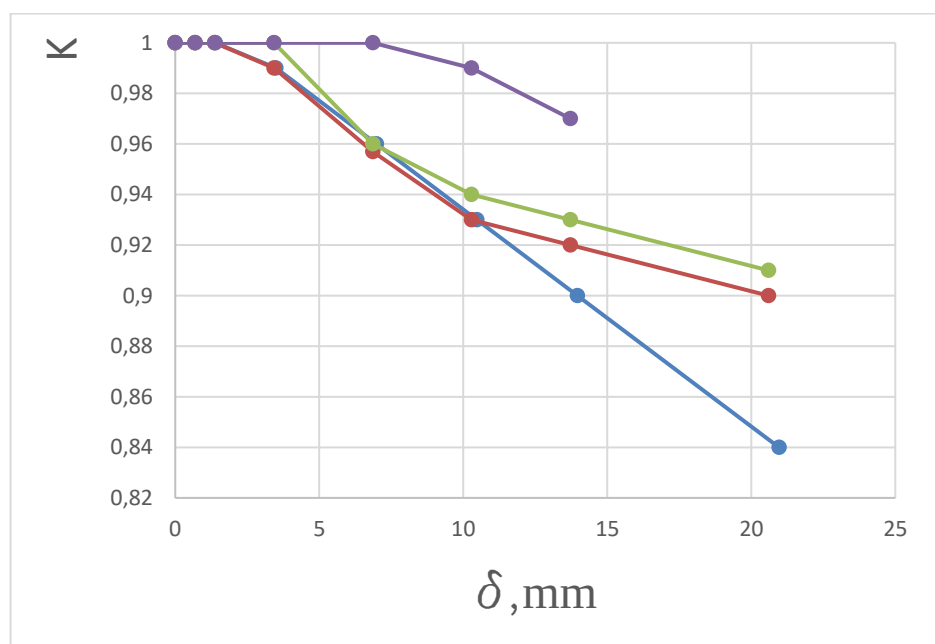


Рис. 3.29

2. Несуча здібність колони  $K \leq 0,95$  практично не змінюється при поєднанні показників, вказаних в табл. 3.1.

Табл. 3.2

|                                     |    |     |       |     |      |
|-------------------------------------|----|-----|-------|-----|------|
| $\delta, \text{мм}$<br>не<br>більше | 7  |     |       |     | 20,6 |
| $L, \text{мм}$                      | 17 | 140 | 196,5 | 200 | 295  |

3.4.2 Для стику в площині мінімальної жорсткості перерізу двотавра К1:

3. Несуча здібність колони залежить як від величини зазору  $\delta$ , так і від довжини підкладки  $L$  (рис. 3.3).

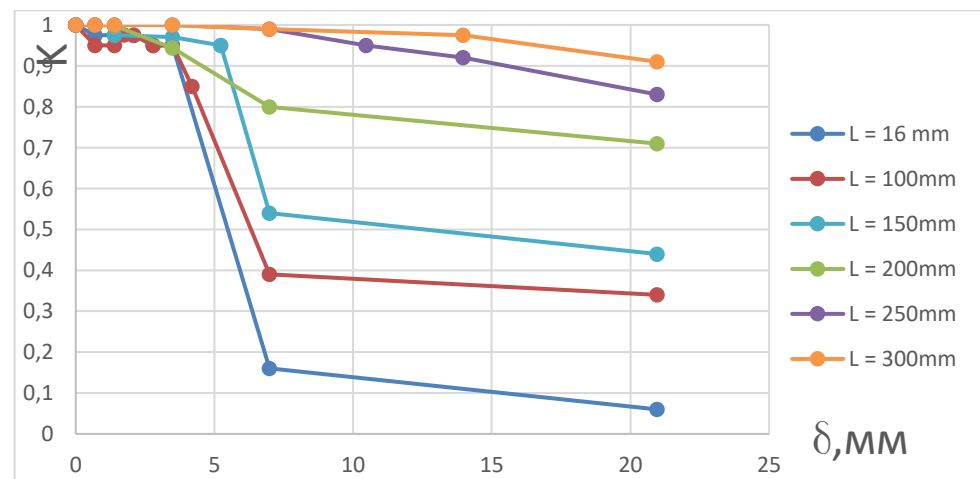


Рис. 3.

4. Несуча здібність колони практично не змінюється при поєднанні показників, вказаних в табл. 3.1.

Табл. 3.2

|                              |     |     |     |     |     |     |
|------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| $\delta$ ,мм<br>не<br>більше | 2,8 | 3,5 | 5,2 |     | 10  | 14  |
| L,мм                         | 16  | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 |

### 3.4.3 Методика вибору розміру L підкладки в залежності від зазору $\delta$ стику

#### 1. Утворення сітки.

Параметри сітки обираються в залежності від довжини прокладки.

Для досить великого значення кута  $\alpha$  розкриття зазору ( $10^\circ$ ) управління сіткою в районі контактуючих поверхонь повинно забезпечити значення K, яке відповідає несучої здібності поверхонь «Нетто» перерізу стику.

#### 2. Розрахунки

Для даного значення  $\delta$  стику виконується нелінійне вишукування Solidworks Simulation до зупинки розрахунку для визначення залежності несучої здібності колони K від довжини L підкладки.

#### 3. Вибір довжини L підкладки

Довжина підкладки повинна забезпечити значення  $K \approx 0,98$ .

## ВИСНОВКИ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ДОСЛІДЖЕНЬ

1. На напружено-деформований стан колон багатоповерхових будівель істотно впливають дефекти монтажу:
  - 1) від неправильності центрування;
  - 2) від неправильності виготовлення (погнуття та викривлення);
  - 3) від затискання у вузлу;
  - 4) від нещільного пригіню фрезерованих торців в стику і неповного заповнення прокладкою.
2. Вплив нещільного пригіню фрезерованих торців в стику і неповного заповнення прокладкою є недостатньо вивченим для визначення впливу на напружено – деформований стан колони, змонтованої з декількох відправних марок.
3. При конструюванні стику колон металевого каркасу висотних будівель потрібно забезпечити близькі фізико – механічні властивості матеріалів колони, прокладки та наплавленого металу.
4. Зі збільшенням зазору в стику несуча здатність колони зменшується.
5. Зі збільшенням довжини прокладки в стику несуча здатність колони збільшується.
6. Характер впливу факторів величини зазору і довжини прокладки на несучу здатність колони залежить від влаштування стику відносно головних осей перерізу.
7. Розроблена методика вибору довжини прокладки за допомогою ПК Solidworks.
8. Складені таблиці для вибору довжини підкладки в залежності від зазору в стику колон з перерізом двотавр колонний К1 по ГОСТ 26020-83 для випадків розкриття зазору в площинах максимальної і мінімальної жорсткості перерізу.

|     |      |          |        |      |              |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------|------|
|     |      |          |        |      | ДКД 19202 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |              | 64   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |              |      |

## CONCLUSIONS FROM THE RESULTS OF THE RESEARCH

1. The stress-strain state of columns of multi-storey buildings is significantly affected by installation errors:

- 1) from incorrect centering;
- 2) from incorrect manufacturing (bending and warping);
- 3) from clamping at the node;
- 4) from loose fit of milled ends at the joint and incomplete filling with a gasket.

2. The effect of loose fit of milled ends at the joint and incomplete filling with a gasket is insufficiently studied to determine the effect on the stress-strain state of a column assembled from several starting grades.

3. When designing the joint of columns of multi-storey buildings, it is necessary to ensure close physical and mechanical properties of the column materials, gasket and welded metal.

4. With an increase in the gap in the joint, the bearing capacity of the column decreases.

5. With an increase in the length of the gasket in the joint, the bearing capacity of the column increases.

6. The nature of the influence of the factors of the gap size and the length of the gasket on the bearing capacity of the column depends on the arrangement of the joint relative to the main axes of the section.

7. A method for selecting the length of the gasket has been developed using the Solidworks PC.

8. Tables have been compiled for selecting the length of the lining depending on the gap in the joint of columns with a K1 I-beam column cross-section according to GOST 26020-83 for cases of opening the gap in the planes of maximum and minimum stiffness of the section.

|     |      |          |        |      |              |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------|------|
|     |      |          |        |      | ДКД 19202 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |              | 65   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |              |      |

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Большаков, В.І. Використання сталей підвищеної міцності у новому висотному будівництві та реконструкції [Текст]. / В.І. Большаків, О.В. Розумова. – Дніпропетрськ: «Пороги», 2008. – 214 с.
2. Веденіков, Г.С. Металеві конструкції [Текст]. / Г.С. Веденіков, Є.І. Біленька та ін. - М.: Будвидав, 1998. - 760 с.
3. Ведяков, І.І. Комплексний підхід до забезпечення безаварійної роботи унікальних висотних будівель із сталевим каркасом на прикладі будівництва вежі «Євразія» [Текст]/І.І. Ведяков, Д.В. Конін// Вісник відділення будівельних наук. Том 2, 2010. Вип. 14, 3. 242-251.
4. Генералів, В.П. Особливості проектування висотних будівель [Текст]/В.П. Генералів. - Самара: Самарське книжкове вид-во, 2007. - 256 с.
5. ГОСТ 23118-99. Конструкції сталеві будівельні. Загальні технічні умови [Текст]. - Введ. 2001-01-01. - М: ВАТ «ЦПП». – 2002. – 23 с.
6. Гранічев, І.А. Будівництво США [Текст]. / І.А. Гарнічев. - М.: Будвидав, 1979. - 333 с.
7. Диховичний, Ю.А. Конструювання та розрахунок житлових та громадських будівель підвищеної поверховості [Текст]. / Ю.А. Диховичний. - М.: Видавництво літератури з будівництва, 1970 - 248 с.
8. Козак, Ю. Конструкції висотних будівель [Текст]/Ю. Козак. - М.: Будвидав, 1986-307 с.
9. Конін, Д.В. Статистична оцінка неточностей монтажу колон металевих каркасів висотних будівель [Текст]/Д.В. Конін // Будівельна механіка та розрахунок споруд, 2010. №6, С. 12-19.

|     |      |          |        |      |              |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------|------|
|     |      |          |        |      | ДКД 19202 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |              | 66   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |              |      |

10. Конін, Д.В. Численні дослідження призматичних моделей стиків колон з фрезерованими торцями [Текст]/Д.В. Конін // Промислове та цивільне будівництво, 2010. №10, С. 53-57.

11. Конін, Д.В. Експериментальні дослідження моделей стиків колон з недосконалістю між фрезерованими торцями [Текст]/Д.В. Конін // Вісті ОрелДТУ. Серія «Будівництво та реконструкція», 2010. №1/27(589), С. 29-36.

12. Одеський, П.Д. Стали в унікальних висотних будинках: розвиток проблеми за п'ятдесят років [Текст]. / П.Д. Одеська. // Промислове та цивільне будівництво, 2007. №3, С. 10-13.

13. Одеський, П.Д. Сталь нового покоління в унікальних спорудах [Текст]. / П.Д. Одеський, Д.В. Кулик. - М.: Інтернет Інжиніринг, 2005. - 175 с.

14. Підгірний, О.М. Завдання контактної взаємодії елементів конструкцій [Текст]/О.М. Підгірний, П.П. Гонтаровський та ін. – Київ: Наукова думка, 1989.- 232 с.

15. Попкова, О.М. Конструкції висотних будівель за кордоном [Текст]/О.М. Попкова. -М.: Вид-во ЦНДІС, 1973. – 115 с.

16. Посібник до СНіП П-23-81 \*. Посібник із проектування сталевих конструкцій [Текст]. - М: ЦИТП Держбуду СРСР. – 1989. – 247 с.

17. Проектування сучасних висотних будівель [Текст]. / За ред. Сюй Пейфу: пров. з китайської. - М: Вид-во АСВ, 2008. - 469 с.

18. СНіП 3.03.01-87. Несучі та огорожувальні конструкції [Текст]. - Введ. 1988-07-01. -М: ВАТ «ЦПП». -2008. – 114 с.

19. СНіП П-23-81 \*. Сталеві конструкції [Текст]. - Введ. 1982-01-01. - М: ВАТ «ЦПП». -2008. – 126 с.

20. Сно, В.Е. Вплив геометричних похибок збірних каркасів працювати каркасів багатоповерхових будинків [Текст] / В.Є. Сно. - Дисертація... канд. техн. наук – Москва, 1981 – 159 с. ■

|     |      |          |        |      |              |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------|------|
|     |      |          |        |      | ДКД 19202 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |              | 67   |

21. Сучасне висотне будівництво [Текст]. / За ред. Ю.Г. Граніка, М.М. Щукіної. – М.: ГУП «ІТЦ Москомархітектури», 2007 – 440 с.

22. СП 53-101-98. Виготовлення та контроль якості сталевих будівельних конструкцій [Текст]. - Введ. 1999-05-17. - М: ВАТ «ЦПП». - 2008. - 29 с.

23. СП\* 53-102-2004. Загальні правила проектування сталевих конструкцій [Текст]. - Введ. 2005-01-01. - М: ВАТ «ЦПП». – 2008. – 131 с.

24. СТО 02494680-0049-2005. Стандарт організації. Конструкції сталеві будівельні [Текст]. - Введ. 2005-05-30. - М.: ЦНДІПЗК ім. Н.П. Мельникова.- 2005.-21 с.

70; Травуш, В.І. Чисельне дослідження стиків із фрезерованими торцями колон коробчатого та двотаврового перерізів [Текст] / В.І. Травуш, Д.В. Конін://Academia. Будівництво та архітектура, 2010. №3; G. 110-115;

1.1. Травуш, В.І. Численні та експериментальні дослідження: моделей стиків колон; с. недосконаlostями: між фрезерованими; торцями? [Текст]/В.І. Травуш,. Д.В. Конін // International Journal for Computational' Civil and Structural Engineering, 2010. № 6 (1 & 2), С. 209-211.

72. Ханджі, В.В. Розрахунок багатоповерхових будівель зі зв'язковим каркасом [Текст]/В.В. Ханджі. - М.: Будвидав, 1977. - 187 с.

73. Цйфринович, А.3. Монтаж будівлі підвищеної поверховості [Текст]; / О.3. Цифринович М.: МІСІ, 1976.-82 с. '

74. Шуллер, С.Т. Конструкції висотних будівель [Текст]/В. Шуллер. - М.: Будвидав, 1979 - 247 с.

75 <http://skyscraperpage.com/>

76 <http://www.aisc.org/>

77. <http://www.ctbuh.org/>

78. <http://www.modernsteel.com/>

|     |      |          |        |      |              |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------|------|
|     |      |          |        |      | ДКД 19202 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |              | 68   |

79. <http://www.swfc-shanghai.com/>

81. <http://www.thomtontomasetti.com/>

3.

|     |      |          |        |      |              |      |
|-----|------|----------|--------|------|--------------|------|
|     |      |          |        |      | ДКД 19202 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |              |      |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |              | 69   |