

О.А.БАБИЧ; О.І.ТРУБАЄВ, канд. техн. наук; НТУ «ХПІ»;
І.В.ЧАЛИЙ, канд. техн. наук; ХНТУСГ ім. Петра Василенка

ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ТРІЙНИКОВИХ З'ЄДНАНЬ ТРУБОПРОВІДІВ ГІДРОСИСТЕМ

В роботі досліджувався напружено-деформований стан (НДС) трійникового з'єднання труб гідроприводу пресу під дією внутрішнього тиску. Розглядалося дві моделі конструктивної реалізації з'єднання.

The stressedly-deformed state of t-junction of connection of pipes of a hydraulic drive press under an operation of internal pressure is examined. Two models of constructive realization of connection were considered.

Трубопроводи металургійної та інших промислових галузей представляють собою просторову розгалужену систему, яка навантажена внутрішнім тиском. Небезпечними з точки зору напружено-деформованого стану в таких конструкціях є місця різкої зміни геометрії, зокрема трійникові з'єднання. Зважаючи на це, ще на стадії проектування таким місцям необхідно приділяти особливу увагу.

Дослідженню трійникових з'єднань трубопроводів присвячена досить велика кількість як експериментальних [1], так і теоретичних [2-3] робіт. Останні в основному базуються на застосуванні теорії тонких оболонок. У нормах розрахунку на міцність устаткування й трубопроводів атомних енергетичних установок [4] запропоновані наближені інженерні методики розрахунку напружень у трійникових з'єднаннях, в яких труба й штуцер перетинаються під прямим кутом. Застосування теорії тонких оболонок для розрахунку товстостінних трійникових з'єднань не дозволяє одержати досить повну картину напруженого стану в місці з'єднання труби й штуцера, що особливо важливо при наступній оцінці їхньої довговічності [5]. Тому розрахунок напруженого стану трійникових з'єднань доцільно проводити з позицій тривимірної теорії пружності із залученням ефективних чисельних методів, зокрема методу скінченних елементів (МСЕ) [6].

Аналіз навантажень гідросистеми копрового пресу, що виникають в процесі експлуатації [7], показав що трубопровідна система працює в умовах квазістатичного навантаження, де максимальні значення внутрішнього тиску досягають 29 МПа. У зв'язку з цим представляє інтерес дослідження напруженого стану, що виникає при максимальних експлуатаційних навантаженнях.

На рис. 1 представлено схематичне зображення геометрії трійникового з'єднання виділеного з просторового трубопроводу гідросистеми копрового пресу, що підводить робочу рідину до гідророзподільників. Матеріал – сталь Ст3. Трійник жорстко закріплений з усіх боків.

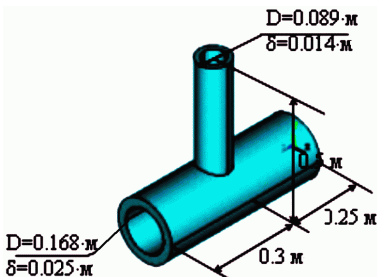


Рисунок 1 – Геометрія конструкції трійника

Для дослідження НДС трійникового з'єднання в даній роботі побудовані твердотільні моделі за двома конструктивними схемами трійника (рис. 2).

Для вибору адекватної скінченно-елементної (СЕ) моделі попередньо проведені розрахунки статичної міцності трійника, навантаженого внутрішнім тиском $P = 29$ МПа, який відповідає максимальному значенню тиску в процесі експлуатації. В табл. 1 наведені максимальні значення еквівалентних напружень по

Мізу та сумарних переміщень, отриманих з використанням різних СЕ моделей для трійникового з'єднання, побудованого за схемою 2 на основі об'ємного 20-вузлового елемента.

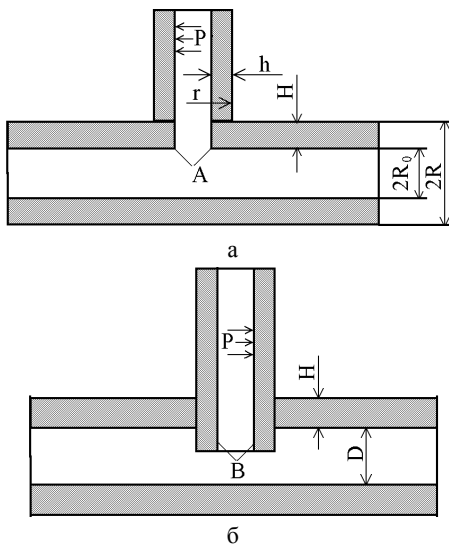


Рисунок 2 – Схеми трійника (а – схема 1, б – схема 2)

Таблиця 1

№ СЕ моделі	Розмір елемента	Порядок розрахункових рівнянь	Максимальні напруження, МПа	Максимальні переміщення, м
1	δ^*	36876	325	$0.404 \cdot 10^{-4}$
2	$\delta/2$	279450	334	$0.411 \cdot 10^{-4}$
3	$\delta/3$	754218	339	$0.412 \cdot 10^{-4}$

* -- δ – товщина труби

Подальші розрахунки проводили з використанням SE моделі №2, оскільки ця модель забезпечує достатню точність при розрахунках напружень та переміщень, що видно з досліджень збіжності результатів (табл. 1). Статичний аналіз конструкцій для двох конструктивних схем (рис. 2) виявив місця максимальних напружень (рис. 3 та рис. 4).

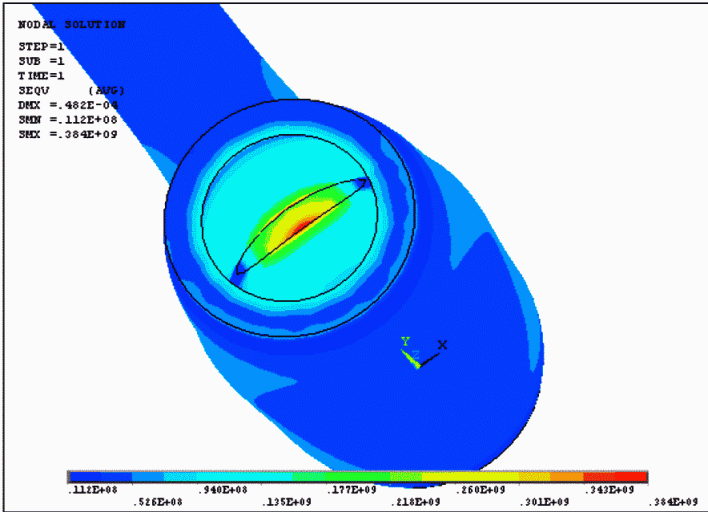


Рисунок 3 – НДС конструкції побудованої за схемою 1

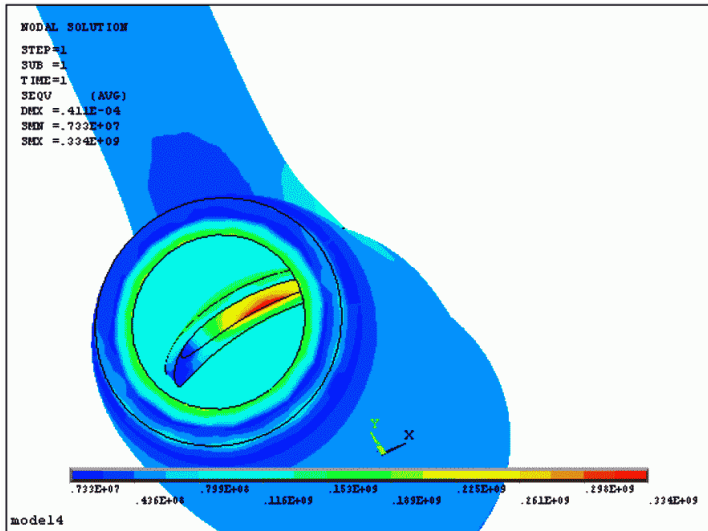


Рисунок 4 – НДС конструкції побудованої за схемою 2

В результаті проведеного аналізу, були виявлені області виникнення максимальних напружень. Для оцінки чисельних значень напружень порівняємо їх з границею текучості та границею міцності. Для матеріалу Ст3 $[\sigma_r] = 210 \div 240$ МПа та $[\sigma_m] = 380 \div 470$ МПа. У нашій конструкції максимальні напруження виникають на внутрішній поверхні трійника в зоні різкої зміни геометрії і дорівнюють для схем 1 та 2 відповідно 384 МПа, 334 МПа. (рис. 3, 4). Проте, в таких зонах різкої зміни геометрії (отвори, галтели, виточки і т.п.) має місце локальний зріст напружень. При пружних деформаціях максимальне напруження σ_{\max} в цій області визначають як добуток номінального напруження $\sigma_{\text{ном}}$ на коефіцієнт концентрації α_σ [4] :

$$\sigma_{\max} = \sigma_{\text{ном}} \alpha_\sigma. \quad (1)$$

У правилах та нормах в атомній енергетиці[4] приведені коефіцієнти концентрації α_σ отримані з експерименту чи розрахунку. Для трійникових з'єднань різної геометрії (схема 1,2): $\alpha_{\sigma 1} = 4,19$, $\alpha_{\sigma 2} = 2,01$.

Провівши аналіз результатів, ми отримали градієнт розподілення напружень по конструкції. Якщо дослідити зміну напружень в околиці точки максимуму, то ми можемо визначити номінальне напруження.

Дослідивши таким чином конструкцію ми отримали значення номінальних напружень за МСЕ для розглянутих схем: схема 1– $\sigma_{\text{ном}1} = 94$ МПа; схема 2 – $\sigma_{\text{ном}2} = 79$ МПа.

Значення номінальних напружень можна також визначити аналітично. Для геометрії конструкції, що відповідає схемі 1 (рис. 2, а) використовується формула 2, для схеми 2 (рис. 2, б) – формула 3 [4].

$$\sigma_{\text{ном}} = p \frac{R^2 + R_0^2}{R^2 - R_0^2}, \quad (2)$$

$$\sigma_{\text{ном}} = p \frac{D + H}{2H}. \quad (3)$$

Скориставшись наведеними формулами визначили аналітично номінальні напруження для схем 1, 2: $\sigma'_{\text{ном}1} = 98$ МПа, $\sigma'_{\text{ном}2} = 82,94$ МПа. Як бачимо, результат отриманий за допомогою МСЕ відрізняється від аналітичного рішення не більше ніж на 5 %.

В табл. 2 наведені рішення отримані відповідно з формулою (1) з урахуванням номінальних напружень отриманих аналітично (формули 2,3) та чисельно згідно МСЕ.

Таблиця 2 – Максимальні напруження

	Аналітичне рішення, МПа	Рішення отримане по МСЕ, МПа
$\sigma_{\max 1}$	410,62	393,86
$\sigma_{\max 2}$	166,7094	158,79

Аналізуючи отримані результати, ми бачимо, що напруження для схеми 1 перевищують границю текучості, але не перевищують границю міцності. Це

говорить про те, що конструкція одразу не зруйнується. Проте, враховуючи, що система працює в умовах циклічного навантаження рекомендується проводити дослідження ресурсу з урахуванням пружно-пластичних деформацій, а також, має сенс зміцнення конструкції. Проте для схеми 2 ми спостерігаємо напруження, що не перевищують допустимі. Отже ми можемо зробити висновок, що така побудова трійникового з'єднання для заданої геометрії та умов навантаження є рішенням проблеми виникнення небезпечних напружень.

Список літератури: 1. Скопинский В.Н., Казачкин А.В. Расчетный экспериментальный анализ тройниковых соединений с отбортовкой // Проблемы прочности. – 1994. – № 11. – С. 69-74. 2. Шрон Р.З., Гецфрид Э.И., Гооге С.Ю. и др. Длительная прочность тройниковых сварных соединений трубопроводов // Проблемы прочности. – 1992 – № 2. – С. 40-45. 3. Стрельченко А.С., Стрельченко И.Г. Напряженное состояние пересекающихся цилиндрических оболочек с учетом поперечного сдвига обжатия // Проблемы прочности. – 1992. – № 2. – С. 61-67. 4. Нормы расчета на прочность оборудования и Трубопроводов атомных энергетических установок (ПНАЭ Г-7-002-86) (Правила и нормы в атомной энергетике) / Госатомэнергонадзор СССР – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 525 с. 5. С.В.Кобельский, В.И.Кравченко, А.Л.Квитка и др. Анализ напряженного состояния в равнопроходных тройниковых соединениях трубопроводов // Проблемы прочности. – 1998. – № 6. – С. 116-122. 6. Зенкевич О.К. Метод конечных элементов в технике. – М., Мир, 1975. – 342 с. 7. Астахова К.В., Жовдак В.А., Татьков В.В. и др. Вынужденные колебания трубопроводов гидросистемы копрового пресса // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Динаміка та міцність машин. – 2006. – № 32.

Надійшла до редколегії 21.11.2007

УДК 621.039.55:593.3

О.В.БИРЮКОВ, канд.техн.наук; ННЦ «ХФТИ», Харьков
Ю.М.АНДРЕЕВ, канд.техн.наук; **Д.В.ЛАВИНСКИЙ**, канд.техн.наук;
В.Н.СОБОЛЬ, канд.техн.наук; НТУ «ХПИ»

АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ ПРИ ПАДЕНИИ КОНТЕЙНЕРА-УПАКОВКИ С РАДИОАКТИВНЫМИ ОТХОДАМИ

Представлено метод та результати аналізу динамічних реакцій, кінематичних параметрів та напружено-деформованого стану (НДС) при падіннях контейнера-упаковки (КУ) для транспортування радіоактивних відходів. Аналіз ударної взаємодії виконувався на базі САПР динаміки систем твердих тіл. Аналіз НДС конструктивних елементів КУ виконано методом скінчених елементів (МСЕ). Приведено розрахункові дані та рекомендації з удосконалення конструкції КУ.

The method and results of the analysis of dynamic reactions, kinematics parameters and stress-strain state for the falling nuclear waste package are presented. The analysis of impact interaction by using the SAE of multibody system dynamics is done. The stress-state analysis of the package elements by finite element method (FEM) is given.