

МАШИНОБУДУВАННЯ І ТРАНСПОРТ

УДК 62-465+620.172/.178.2

О. В. Гондляр¹
 О. М. Тимонін¹
 А. О. Чемерис¹
 В. Ю. Онопрієнко¹
 А. В. Копиленко¹

ЧИСЕЛЬНИЙ АНАЛІЗ МІЦНОСТІ КАНІСТР ЗА УМОВ СТАТИЧНОГО ТА ДИНАМІЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ

¹Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

Використовуючи програмний комплекс АПРОКС методом скінченних елементів, досліджено процес лінійного і нелінійного деформування каністр для зберігання нафтопродуктів. На базі розроблених скінченно-елементних моделей проведено чисельний аналіз та визначено напружено-деформований стан каністри для машинного масла. Наведено результати чисельного аналізу каністр для нафтопродуктів за умови їх штабельного зберігання, а також у разі падіння каністр. На основі виконаних розрахунків запропоновані проектно-конструкторські рекомендації щодо проектування подібного роду виробів.

Ключові слова: каністра, нафтопродукти, деформація, запас міцності, прес-форма, програмний комплекс.

Вступ

До зберігання й транспортування мастильних і трансмісійних рідин висуваються особливі вимоги, оскільки нечітке дотримання або порушення цих вимог може призвести не тільки до суттєвих фінансових втрат, але й зумовити ситуацію, яка б загрожувала здоров'ю людини, що працює з таким типом рідин.

Створення нових матеріалів, дослідження нових типів, форм та розмірів — такий перелік завдань ставлять перед собою виробники ємностей для зберігання й транспортування мастильних, паливних та інших рідин.

Результати досліджень

В сучасній промисловості широкого використання набув такий матеріал, як поліетилен високої густини [1]. Він використовується для виробництва паливних баків, резервуарів для зберігання й транспортування рідин, великої кількості тари різного призначення. Саме цей матеріал поширений у виробництві такого типу тари як каністри невеликої ємності (1...5 л).

Каністра це тонкостінна ємність складної геометричної форми. А тому визначення раціональної товщини стінки є одним з найважливіших питань, що постає перед конструкторами цього типу упаковки.

Враховуючи різноманітність конфігурацій каністр різного призначення, досить важко (а інколи й неможливо) розраховувати їх на міцність за допомогою аналітичних залежностей. Тому товщину стінки вибирають з урахуванням деякого запасу міцності, а потім виконують експериментальні випробування на міцність, в яких каністру перевіряють на міцність від падіння під час транспортування чи зберігання штабелями. Перевірку на міцність при падінні виконують шляхом скидання трьох каністр з висоти 0,6...0,8 метрів [2], а випробування на стискання при штабелюванні здійснюють, ставлячи 2 ряди заповнених каністр один на другий, або навантажуючи нижній ряд вагою еквівалентної маси, обчисленою за формулою [2]

$$P = k \cdot 10M (H/n - 1),$$

де H — висота штабеля; n — висота каністри; M — маса бруто каністри; k — коефіцієнт запасу міцності ($k = 1,5$).

Випробування на стискання проводиться 8 годин. Якщо не сталося змін структури матеріалу, що може вплинути на зберігання продукції, то ємність можна використовувати в промислових цілях.

У такої методики визначення товщини стінки є недоліки. Розраховуючи за аналітичними залежностями, не враховуються індивідуальні особливості конструкції каністри (місця різкої зміни геометрії, локальні стоншення), а саме в таких місцях, як показує досвід, виникають зони концентрації напружень. Тому, в деяких випадках, обрана товщина стінки не забезпечить міцність конструкції. Це може призвести до необґрунтованих фінансових витрат на проектування і виготовлення нових прес-форм. Виходячи з цього, в більшості випадків при проектуванні каністр товщину їх стінок вибирають зі значним запасом міцності, але це призводить до невиправданих витрат матеріалів, тобто до подорожчання виробу. Вказані недоліки можуть бути усунуті із залученням до розрахунків на міцність чисельних методів, провідне місце серед яких займає метод скінчених елементів.

Цей метод дозволяє з достатнім ступенем точності досліджувати особливості деформування й оцінювати рівень концентрації напружень в зонах, якими є місця різкої зміни геометрії досліджуваних об'єктів [3].

Аналіз міцності каністри виконувався шляхом проведення циклу чисельних розрахунків за навантаженнями, зумовленими гідростатичним тиском від масла усередині каністри, а також тиску, що виникає при штабельному зберіганні ящиків з каністрами. Аналіз міцності каністр при динамічному навантаженні (падіння з висоти 0,8 м на абсолютно тверду поверхню) здійснювався шляхом врахування коефіцієнта динамічності, що визначався індивідуально з розрахунку на статичну міцність для кожного з досліджуваних об'єктів.

Оскільки визначення напруженого стану каністр з позицій класичних методів опору матеріалів у цьому випадку є неприйнятним, як метод розрахунку був вибраний метод скінчених елементів.

Як матеріал для виготовлення каністр для масла був вибраний поліетилен високої густини, що широко використовується у вітчизняному автомобілебудуванні для виготовлення паливних баків ємністю до 100 л.

Рівень інтенсивності внутрішнього гідростатичного тиску визначався для масла густиною 898 кг/м^3 [4].

Оскільки величина максимальних переміщень у всіх трьох каністрах більше їхньої товщини, то визначення напружено-деформованого стану каністр здійснювалося з урахуванням великих переміщень у геометрично нелінійній постановці.

Розрахунки виконувалися на основі програмного комплексу автоматизації розрахунків на міцність оболонкових й комбінованих систем АПРОКС, розробленого в Національному технічному університеті України «КПІ».

Програмний комплекс АПРОКС призначений для дослідження методом скінчених елементів процесів лінійного й нелінійного деформування просторових комбінованих систем (оболонки, масивних, плоских й осесиметричних конструкцій).

Об'єктами дослідження можуть бути однорідні й багат шарові просторові конструкції, що використовуються в пакувальній індустрії, машинобудуванні, будівництві, авіа- чи суднобудуванні тощо.

Для дослідження напружено-деформованого стану плоских, осесиметричних, оболонкових і масивних тіл система реалізує ефективний варіант методу скінчених елементів — моментну схему [5]. Для деталізації напруженого стану багат шарових оболонки по товщині пакета шарів використовуються також уточнені моделі деформування (гіпотеза С. П. Тимошенко), основані на ітераційно-аналітичній теорії оболонки, що дозволяє з достатньою для інженерних розрахунків точністю аналізувати НДС не тільки тонких і середніх по товщині, але також і товстих багат шарових й однорідних по товщині оболонкових систем.

Моделювання процесу тріщиноутворення виконується в рамках феноменологічних теорій міцності, причому корекція тензора фізико-механічних характеристик зруйнованої області виконувалась залежно від виду руйнування — відриву, зсуву або зминання.

Моделювання фізичних нелінійних процесів здійснювалось на основі теорії пластичного плину із трансляційним зміцненням, або в рамках деформаційної теорії пластичності.

В основу покладена концепція багатфрагментності або квазірегулярності дискретних моделей

(регулярність розрахункової мережі скінченних елементів в межах фрагмента (підобласті) конструкції). Такий підхід дозволяє оптимізувати алгоритми керування даними та їх обробки.

Завдяки модульній структурі, система є відкритою для використання інших теорій пластичності, а також інших алгоритмів розрахунку.

Розрахунки за допомогою системи передбачають виконання стандартних етапів, характерних для реалізації методу скінченних елементів.

На базі розроблених скінченно-елементних моделей (рис. 1) проведені чисельні розрахунки літрових каністр для зберігання нафтопродуктів. Як навантаження використовувався гідростатичний тиск від дії рідини, навантаження при штабельному зберіганні каністр (6 рядів), а також динамічне навантаження внаслідок падіння каністри з висоти 0,8 м.

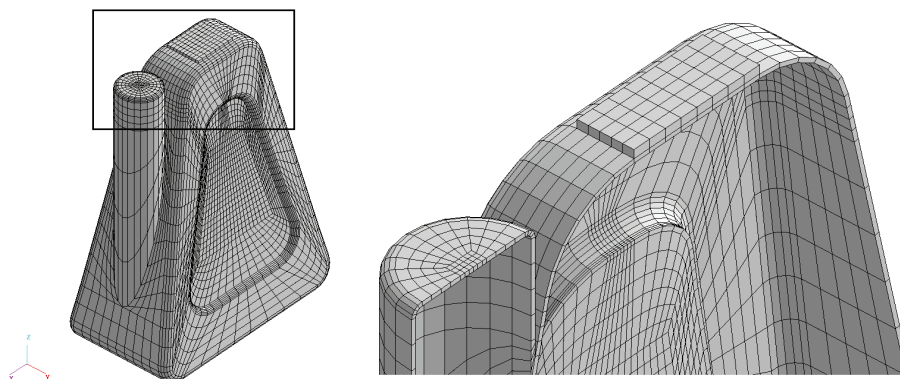


Рис. 1. Скінченно-елементна модель каністри

Результати чисельних розрахунків для каністр при товщині стінки 1 мм зведені у таблицю.

Результати чисельних розрахунків для каністр

Характер навантаження	статичне	динамічне
Максимальні напруження на розтяг, МПа	1,09	2,9
Максимальні напруження на стиск, МПа	0,98	2,3
Максимальні допустимі напруження на розтяг, МПа	45	45
Максимальні допустимі напруження на стиск, МПа	40	40
Коефіцієнт запасу міцності (розтяг)	41	15,5
Коефіцієнт запасу міцності (стиск)	40	17
Максимальні приведені напруження, МПа	1,3	3,3
Максимальні сумарні переміщення*, мм	2,5	6,1

Примітка. * — переміщення в точці дії максимальних розтягувальних напружень.

При штабельному зберіганні каністри піддаються відповідним навантаженням від власної ваги, значення яких залежить від кількості рядів. Аналізуючи отримані результати розрахунку каністр, виявлено зони концентрації напружень. Каністра знаходиться в складному напружено-деформованому стані (рис. 2) під дією ваги верхніх рядів. Максимальні напруження на розтяг становлять 1,09 МПа за максимально допустимих 45 МПа. Максимальні напруження на стиск 0,98 МПа, за максимально допустимих 40 МПа. Коефіцієнти запасу міцності значні та становить 41,2 і 40,8, відповідно. Сумарні переміщення в каністрі (місця з максимальними розтягувальними зусиллями) при штабельному зберіганні становлять 2,5 мм (рис. 3). Приведені напруження в каністрі та становлять 1,3 МПа (рис. 4). Враховуючи значний запас міцності в каністрі, та не критичні переміщення її можна рекомендувати до використання за нормальних умов експлуатації та при штабельному зберіганні.

Для дослідження поведінки каністр під час падіння проводиться розрахунок в середовищі АП-РОКС. Задається графік навантаження каністри (різка зміна навантаження), тим самим моделюючи удар. В результаті чисельного розрахунку визначено характер зміни напружено-деформованого стану каністри під дією динамічного навантаження (рис. 5). Максимальні напруження в каністрі виникають безпосередньо після удару і становлять: на розтяг 2,9 МПа (рис. 6а), на стиск 2,3 МПа (рис. 6б). Максимальні допустимі напруження не перевищені, коефіцієнт запасу міцності становить 15 та 17,5 відповідно. Максимальні сумарні переміщення (рис. 7а) становлять 6,1 мм в місці максимальних розтягувальних напружень. Приведені напруження в каністрі становлять 3,3 МПа (рис. 8), відповідно.

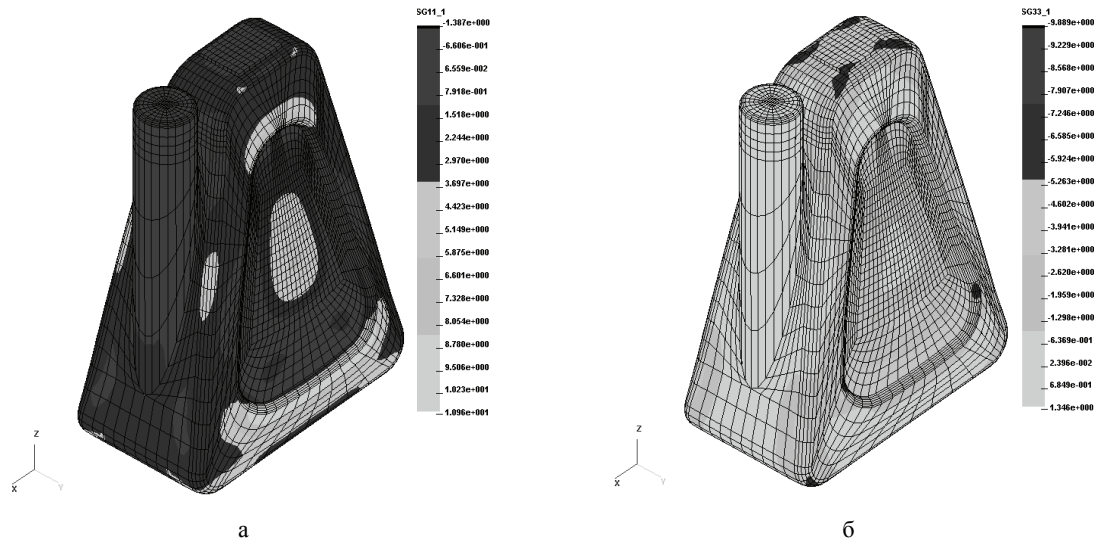


Рис. 2. Розподіл максимальних напружень в каністрі (штабельне зберігання):
а — розтягувальних; б — стискаючих

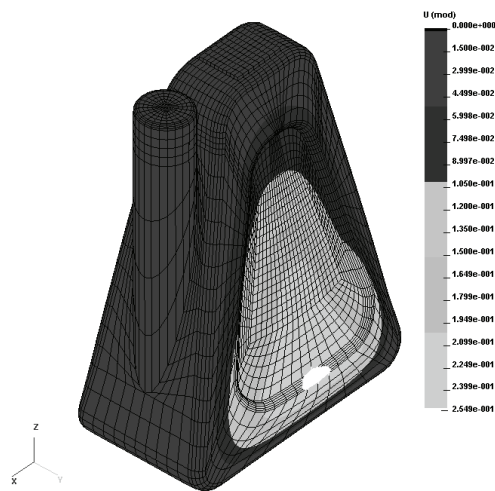


Рис. 3. Сумарні переміщення в каністрі (штабельне зберігання)

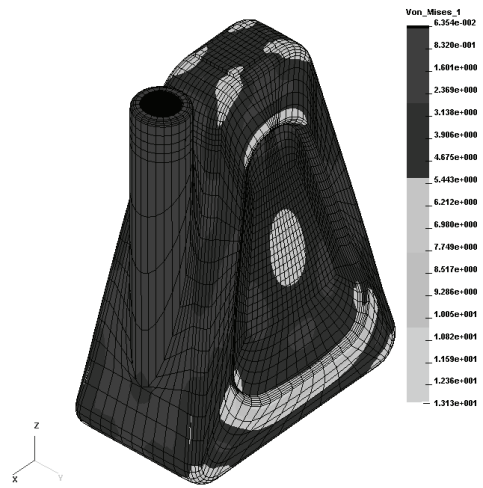


Рис. 4. Приведені напруження в каністрі (штабельне зберігання)

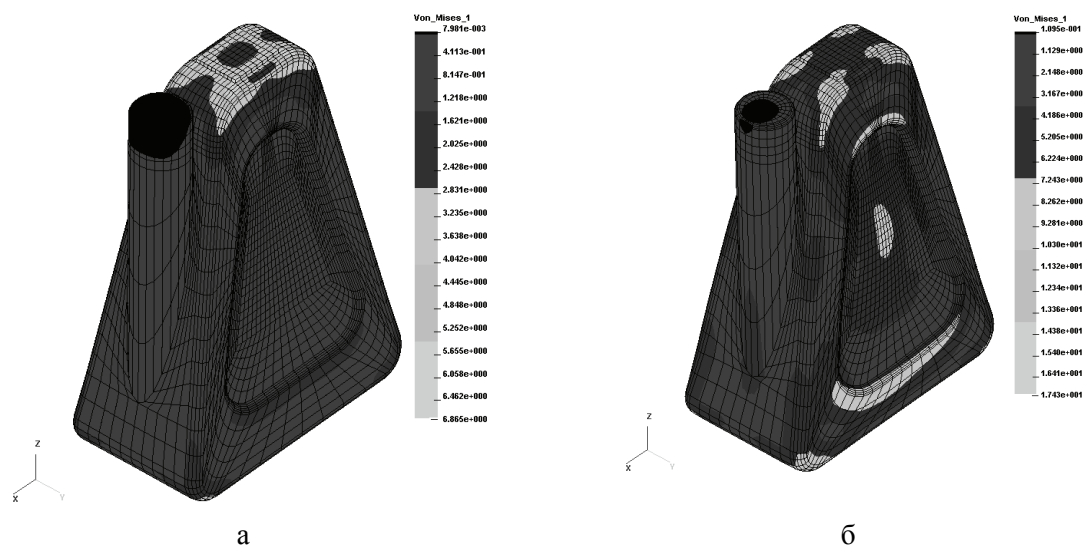
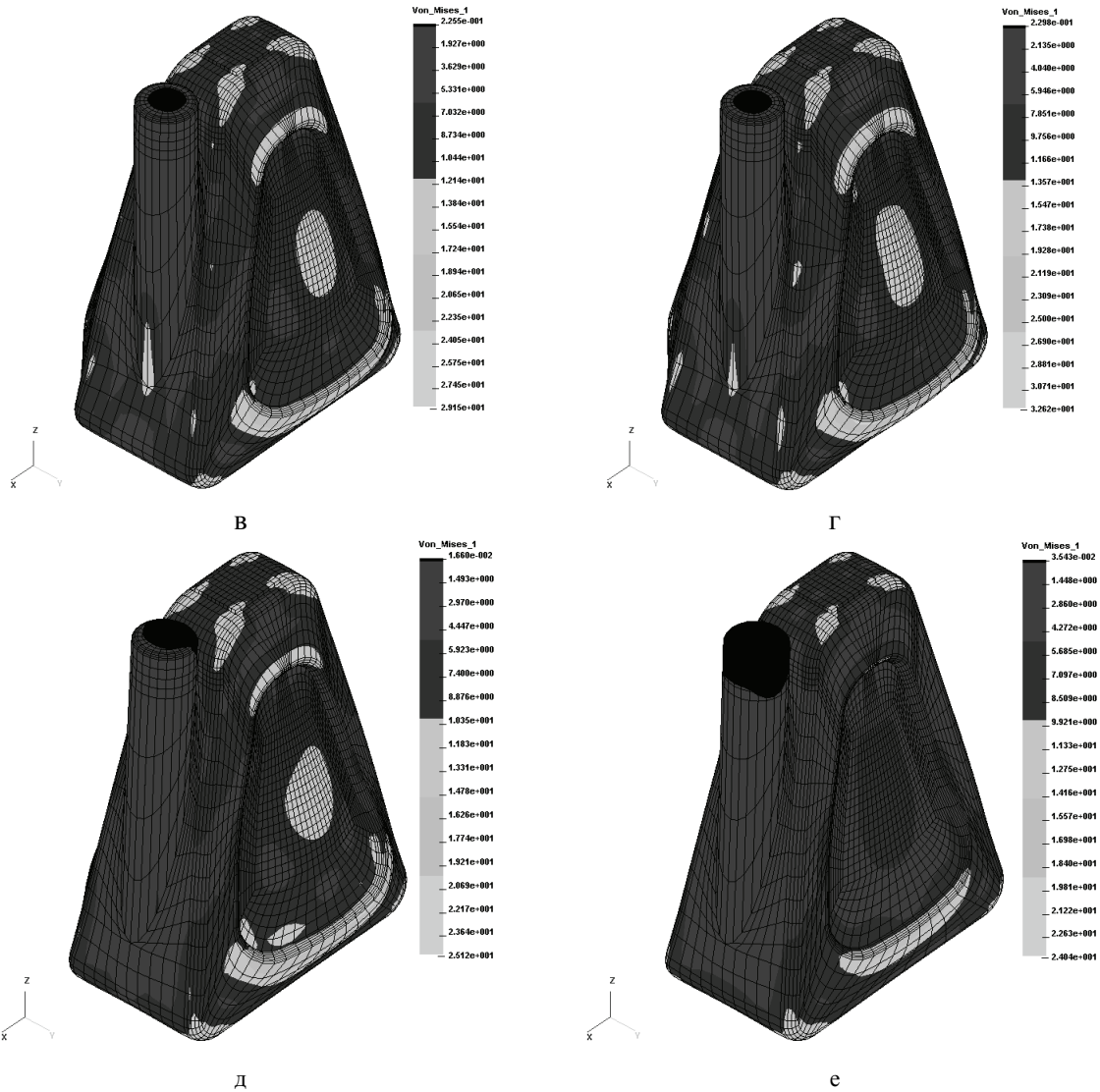


Рис. 5. Розподіл приведених напружень в каністрі (динамічне навантаження)



Продовження рис. 5. Розподіл приведених напружень в каністрі (динамічне навантаження)

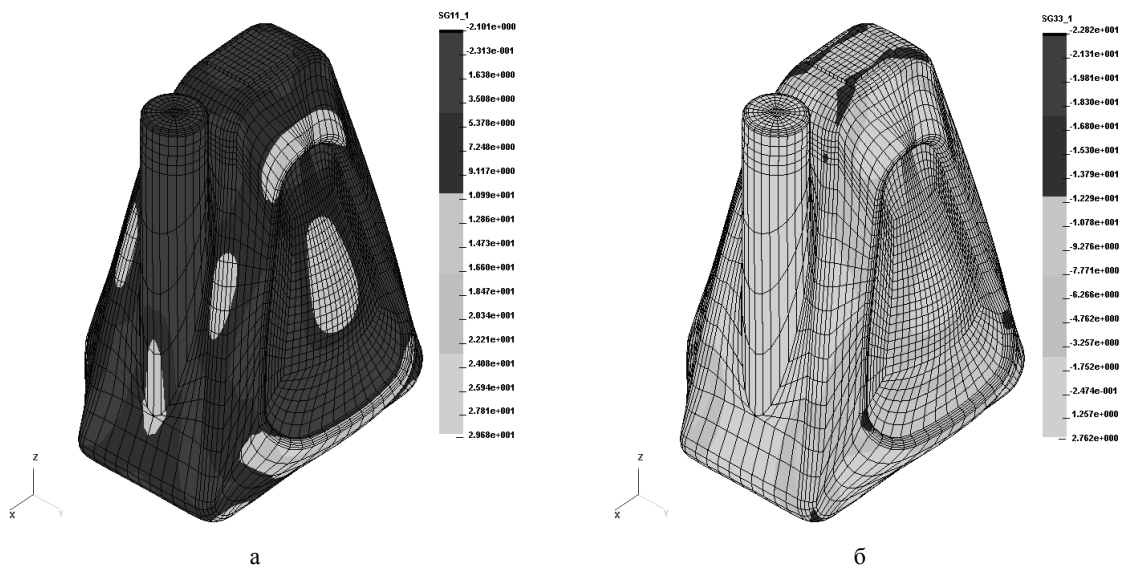


Рис. 6. Максимальні напруження в каністрі (динамічне навантаження):
а — розтягуювальні; б — стискаючі

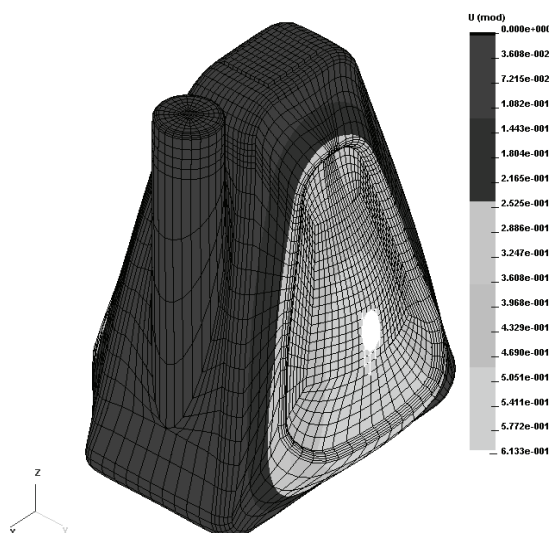


Рис. 7. Сумарні переміщення в каністрі (динамічне навантаження)

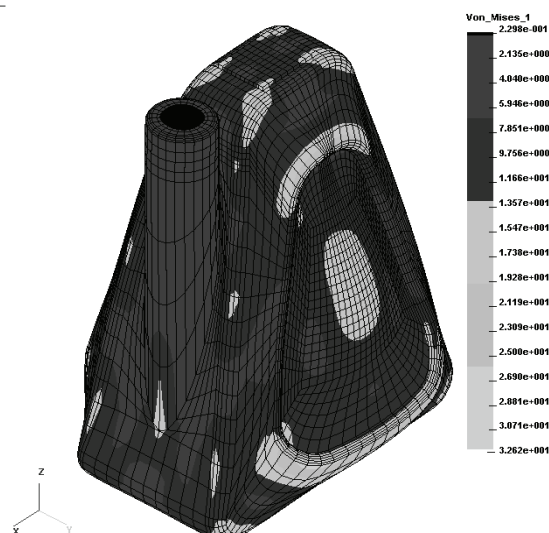


Рис. 8. Приведені напруження в каністрі (динамічне навантаження)

Висновки

Виходячи з результатів, що наведені у таблиці, можна зробити висновок, що у такий спосіб міцність заданих каністр забезпечена за всіх розглянутих умов навантаження.

На базі розроблених скінченно-елементних моделей визначено напружено-деформований стан каністр, розраховані коефіцієнти запасу при статичному та динамічному навантаженнях.

Товщина 1 мм для літрових каністр може бути рекомендована для виготовлення та штабельного зберігання подібного роду виробів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Дж. Л. Уайт, Д. Д. Полиэтилен, полипропилен и другие полиолефины / пер. с англ. под. ред. Е. С. Цобкалло. — СПб. : Профессия, 2006. — 256 стр., ил.
2. Технические условия на канистры 2297-043-05757601-98.
3. Нелинейные задачи механики многослойных оболочек / [В. А. Баженов, А. С. Сахаров, А. В. Гондляр, С. Л. Мельников]. — К. : 1994. — 264 с.
4. Лукасевич С. Локальные нагрузки в пластинах и оболочках / С. Лукасевич. — М. : Мир, 1982. — 544 с.
5. Метод конечных элементов в механике твердых тел / под общ. ред. А. С. Сахарова и И. Альтенбаха. — Киев : Вища школа., 1982. — 480 с.

Рекомендована кафедрою технології та автоматизації машинобудування ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 13.05.2015

Гондляр Олександр Володимирович — д-р техн. наук, професор, професор кафедри хімічного, полімерного та силікатного машинобудування;

Тимонін Олександр Миколайович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри хімічного, полімерного та силікатного машинобудування;

Чемерис Андрій Олегович — старший викладач кафедри хімічного, полімерного та силікатного машинобудування;

Онопрієнко Владислав Юрійович — аспірант кафедри хімічного, полімерного та силікатного машинобудування;

Копиленко Анатолій Васильович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри машин і апаратів хімічних та нафтохімічних виробництв, e-mail: kopyl4949@mail.ru.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ

O. V. Gondliah¹
 O. M. Tymonin¹
 A. O. Chemerys¹
 V. Yu. Onopriienko¹
 A. V. Kopylenko¹

Numerical analysis of durability of canister at static and dynamic loading

¹National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»

On the base of the developed finite element models the numerical analysis has been conducted and the tensely-deformed state of canister for lube oil is defined in the paper. Results of numerical analysis of canisters for oil products at their stack storage, and also at their falling have been brought. On the basis of the executed calculations design-and-engineering recommendations on planning of similar sort of wares have been offered.

Keywords: canister, oil, deformation, safety factor, mold, software package.

Gondliah Oleksandr V. — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Professor of the Chair of Chemical, Polymeric and Silicate Engineering;

Tymonin Oleksandr M. — Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor Assistant Professor of the Chair of Chemical, Polymeric and Silicate Engineering;

Chemerys Andrii O. — Senior Lecturer of the Chair of Chemical, Polymeric and Silicate Engineering;

Onopriienko Vladyslav Yu. — Post-Graduate Student of the Chair of Chemical, Polymeric and Silicate Engineering;

Kopylenko Anatolii V. — Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor, Assistant Professor of the Chair of Machines and Equipment for Chemical and Petrochemical Plants, e-mail: kopyl4949@mail.ru

A. B. Гондляр¹
 A. M. Тимонин¹
 A. O. Чемерис¹
 В. Ю. Оноприенко¹
 А. В. Копыленко¹

Численный анализ прочности канистры при статических и динамических нагрузках

¹Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

Используя программный комплекс АПРОКС методом конечных элементов, исследован процесс линейного и нелинейного деформирования канистр для хранения нефтепродуктов. На базе разработанных конечно-элементных моделей проведен численный анализ и определено напряженно-деформированное состояние канистры для машинного масла. Приведены результаты численного анализа канистр для нефтепродуктов при их штабельном хранении, а также при падении канистр. На основе выполненных расчетов предложены проектно-конструкторские рекомендации по проектированию подобного рода изделий.

Ключевые слова: канистра, нефтепродукты, деформация, запас прочности, пресс-форма, программный комплекс.

Гондляр Александр Владимирович — д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры химического, полимерного и силикатного машиностроения;

Тимонин Александр Николаевич — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры химического, полимерного и силикатного машиностроения;

Чемерис Андрей Олегович — старший преподаватель кафедры химического, полимерного и силикатного машиностроения;

Оноприенко Владислав Юрьевич — аспирант кафедры химического, полимерного и силикатного машиностроения;

Копыленко Анатолий Васильевич — канд. техн. наук, доцент кафедры машин и аппаратов химических и нефтехимических производств, e-mail: koryl4949@mail.ru