

УДК 519.6, 539.3, 539.4

А.В. Копиленко, канд. техн. наук  
Національний університет харчових технологій  
О.В. Гондляр, д-р техн. наук  
О.М. Тимонін, канд. техн. наук  
Р.М. Пашинський,  
А.О. Чемерис, молодші наукові співробітники  
В.С. Васильєв, магістрант  
Національний технічний університет України "КПІ"

## ЗАСТОСУВАННЯ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ АПРОКС У РОЗВ'ЯЗАННІ ЗАДАЧ НА МІЦНІСТЬ І ДОВГОВІЧНІСТЬ ОБЛАДНАННЯ ХІМІЧНОЇ ТА ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Описано можливості програмного комплексу АПРОКС з проведення методом скінчених елементів розрахунків на міцність і довговічність машин і апаратів хімічної та харчової промисловості. Наведено результати чисельного моделювання різноманітних процесів, що виникають під час експлуатації цього обладнання.

**Ключові слова:** програмний комплекс, алгоритми розрахунку, метод скінчених елементів, міцність, довговічність.

Розвиток хімічної та харчової промисловості в Україні безпосередньо пов'язаний з необхідністю створення нового та удосконалення існуючого обладнання.

З метою забезпечення необхідних умов виконання і встановлення основних параметрів реалізації хіміко-технологічних процесів у сучасних економічних умовах нові машини хімічних та харчових виробництв за своїми техніко-економічними показниками не повинні поступатися кращим світовим зразкам. Найактуальнішими проблемами сучасного машино- та апаратобудування є підвищення міцності і надійності відповідальних деталей й вузлів механізмів та забезпечення довговічності й продуктивності машини чи апарата в цілому. Необхідність піднесення технічного рівня, якості та конкурентоспроможності машин і апаратів хімічних та харчових виробництв вимагає безперервного вдосконалення методів розрахунку та технологій їх конструювання. Проведення розрахунків за допомогою відомих аналітичних залежностей через складність розраховуваного обладнання не завжди дає змогу отримати результат з необхідною точністю. Тому для отримання досконаліших результатів треба залучати сучасні чисельні методи розрахунків, серед яких провідне місце належить методу скінчених елементів (МСЕ) [2].

МСЕ — один з найбільш універсальних й ефективних чисельних методів розв'язання задач інженерної механіки. Незважаючи на те, що ідеї, на яких ґрунтується МСЕ, були запропоновані ще в часи Пуассона, значного поширення цей метод розрахунку набув лише в останні 40 років. Розвиток МСЕ тісно пов'язаний із прогресом в галузі кібернетики й обчислювальної техніки. З використанням сучасних швидкодіючих ЕОМ МСЕ являє собою потужний апарат розв'язання різноманітних задач механіки деформованого твердого тіла.

Практика розв'язання задач методом скінчених елементів показала доцільність створення на базі потужних ЕОМ великих систем програмного забезпечення, причому нині вже досягнуто значних успіхів

*Potentialities of program complex APROKS, on realization by a finite element method of calculations on durability and longevity of machines and devices chemical and the food-processing industry are decrypted in the article. Results of a numerical modeling of the different processes originating at maintenance of this inventory are adduced.*

**Key words:** program complex, calculation algorithms, finite element method, durability, longevity.

у цій галузі. Внаслідок орієнтації на складні обчислювальні процедури й обробку великого обсягу інформації програмне забезпечення МСЕ має виконуватися на досить високому рівні із залученням таких відомих прогресивних концепцій програмування, як: модульна структура комплексу, стандартизація інтерфейсів, застосування проблемно-орієнтованих мов програмування високого й низького рівнів. Всі названі особливості властиві програмному комплексу АПРОКС, розробленому і впровадженому на кафедрі хімічного, полімерного та силікатного машинобудування НТУУ "КПІ".

Програмний комплекс АПРОКС призначений для дослідження методом скінчених елементів процесів лінійного й нелінійного деформування устаткування об'єктів хімічної та харчової промисловості, виконаних з ізотропних і анізотропних матеріалів, при довільному термосиловому статичному й імпульсному динамічному навантаженні.

Пакет програм дає можливість:

вирішувати завдання розрахунку на міцність та довговічність обладнання хімічної та харчової промисловості, що перебуває під дією статичного навантаження;

розв'язувати лінійні задачі механіки при імпульсному динамічному навантаженні;

досліджувати напружено-деформований стан устаткування об'єктів харчової та хімічної промисловості, що перебувають під дією статичного або динамічного (ударного) навантаження з урахуванням фізично нелінійної поведінки матеріалів (фізично нелінійна постановка) [3];

чисельно моделювати процеси, що виникають в обладнанні, коли максимальні переміщення сумірні з розмірами конструкції, що її характеризують (геометрично нелінійна постановка) в умовах статичного та динамічного навантаження;

простежувати еволюцію напружено-деформованого стану об'єктів хімічної та харчової промисловості

© А.В. Копиленко, О.В. Гондляр, О.М. Тимонін, Р.М. Пашинський, А.О. Чемерис, В.С. Васильєв, 2006

у геометрично й фізично нелінійній постановках, відстежувати накопичені ними пошкодження та прогнозувати і чисельно моделювати тріщиноутворення;

чисельно моделювати процеси розвитку магістральних тріщин у різноманітних об'єктах хімічної та харчової промисловості (котли, трубопроводи, корпуси машин, станини, фундаменти тощо) з позиції механіки руйнування в лінійній, а також фізично й геометрично нелінійній постановках;

визначати власні частоти і форми коливань просторових систем;

досліджувати вимушені коливання систем у фізично й геометрично нелінійній постановках при циклічному навантаженні з урахуванням процесів руйнування;

вести дослідження процесів контактної взаємодії об'єктів хімічної та харчової промисловості, що виникають при вакуумному формуванні, пресуванні, штампуванні тощо;

досліджувати стаціонарні та нестаціонарні процеси теплопровідності, що виникають у конструкції при нагріванні або охолодженні;

розв'язувати нестаціонарні задачі термопластичності й термоміцності при екстрагуванні, термоформуванні тощо;

моделювати процес зварювання в металевих конструкціях з метою визначення залишкових напружень та прогнозування довговічності конструкції після проведення ремонтних зварювальних робіт.

Завдяки модульній структурі програмний комплекс АПРОКС є відкритим для підключення нових алгоритмів розрахунків, адаптованих під конкретні умови експлуатації обладнання.

Нині набуто позитивний досвід застосування програмного комплексу АПРОКС для дослідження різноманітних об'єктів хімічної та харчової промисловості, що перебувають в умовах різних термосилових режимів навантаження [1, 4].

Система використовувалась як для аналізу напружено-деформованого стану обладнання при нормальних режимах експлуатації, так і для чисельного моделювання різноманітних позаштатних і аварійних ситуацій. Приклади практичного використання програмного комплексу АПРОКС щодо моделювання й дослідження напружено-деформованого стану деякого устаткування хімічної та харчової промисловості подано на рис. 1—5.

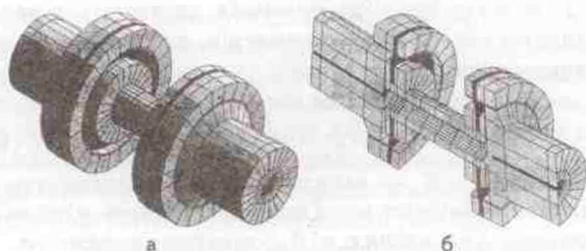


Рис. 1. Розрахунок на міцність напівжорсткої дискової муфти від кутового зміщення з'єднаних валів: а — скінченно-елементна модель напівжорсткої пластинчастої муфти; б — осеві переміщення пружних елементів, мм

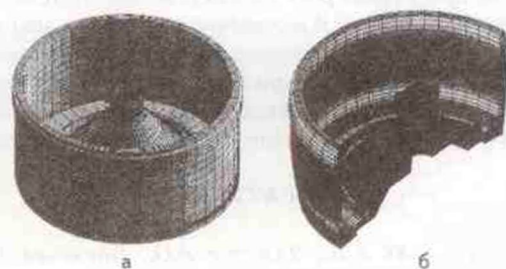


Рис. 2. Дослідження НДС центрифуги при великих швидкостях обертання: а — скінченно-елементна модель центрифуги; б — головні розтяжні напруження у центрифугі

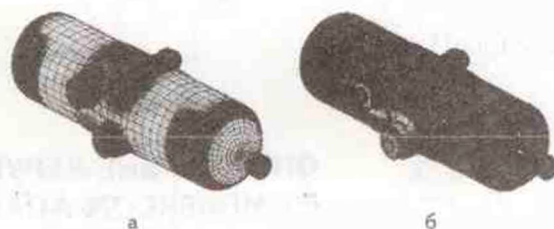


Рис. 3. НДС парогенератора у різні моменти часу після аварії: а —  $t = 0$  с; б —  $t = 1200$  с

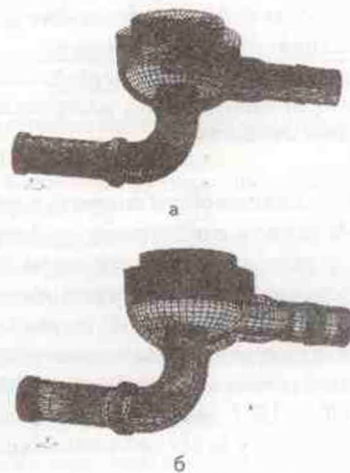


Рис. 4. Розрахунок на міцність головного циркуляційного насоса: а — скінченно-елементна модель головного циркуляційного насоса; б — головні розтяжні напруження в насосі

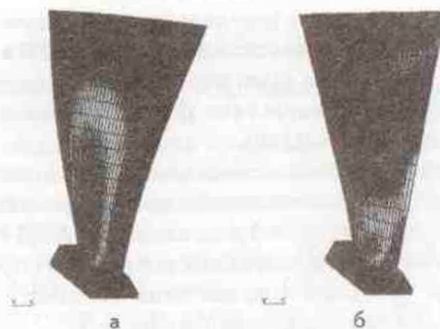


Рис. 5. Розрахунок на міцність лопатки ротора турбіни від дії ударного навантаження в різні моменти часу: а —  $t = 0,038$  с; б —  $t = 0,053$  с

**Висновки.** Протягом всього часу експлуатації програмний комплекс АПРОКС зарекомендував себе як

потужний продукт для розв'язання різноманітних задач з визначення надійності й довговічності машин і апаратів хімічної та харчової промисловості. Застосування комплексу для проектування нового та експлуатації існуючого обладнання дасть змогу суттєво покращити точність розрахунків на міцність та працездатність машин.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Гондляр А.В., Чемерис А.О., Васильев В.С. Расчет полужесткой дисковой муфты методом конечных элементов с учетом контактного взаимодействия дисков и трения между ними // Прогресивні технології і системи машинобудування: Міжнар. зб. наук. праць. — Вип. 30. — Д.: ДонНТУ, 2005. — С. 60 — 66.

2. Метод конечных элементов в механике твердых тел. / А.С. Сахаров, В.Н. Кислюкий, В.В. Киричевский, И. Альтенбах, У. Габберт, Ю. Данкерт, Х. Кепплер, З. Кочык. — К.: Вища шк., 1982. — 479 с.

3. Важенев В.А., Сахаров А.С., Гондляр А.В., Мельников С.Л. Нелинейные задачи механики многослойных оболочек. — К.: НИИ Строймеханики, 1994. — 264 с.

4. Копиленко А.В., Гондляр О.М., Тимонін, М.І., Осипенко, А.О. Чемерис. Аналіз особливостей роботи центрифуг для харчової і хімічної промисловості // Наук. праці НУХТ. — 2005. — №16. — С. 166 — 168.

Надійшла до редколегії 15.02.06. р.