

5. СНиП П-А. 10-71. Строительные конструкции и основания. Основные положения проектирования. -М.: Стройиздат, 1975. - С. 4-9.

УДК 534.121

ДИНАМІКА РАДІАЛЬНИХ ПУЛЬСАЦІЙ СФЕРИЧНОЇ ОБОЛОНКИ З РІДИНОЮ

Шептилевський О.В., асистент

Миколаївський національний аграрний університет

Розроблено математичну модель динамічної системи, що складається з сферичної оболонки постійної товщини, що заповнена рідиною з бульбашкою газу в центрі. Математична модель враховує можливість відсутності центральної симетрії.

Разработана математическая модель динамической системы, которая состоит из сферической оболочки постоянной толщины, заполненная жидкостью с газовой полостью в центре. Математическая модель учитывает возможность отсутствия центральной симметрии.

Розглянута система часто зустрічається в різних галузях науки і техніки, зокрема при зберіганні скрапленого газу під тиском і легко займистих речовин, застосовують сферичні резервуари. Сферичні ємності входять до складу устаткування технологічних ліній в хімічній промисловості. В атомній енергетиці широко застосовуються сферичні оболонки атомних реакторів.

Метою даної роботи є побудова математичної моделі для дослідження процесів, що виникають у динамічній системі, що з сферичної оболонки, заповненої рідиною, з бульбашкою газу в центрі за умови відсутності центральної та осьової симетрії.

При побудові математичної моделі використовували гіпотези Кірхгофа-Лява. Ці припущення дозволили розглядати переміщення в кожній точці оболонки, а також визначити напруги (σ_{ij}) через переміщення серединної поверхні. Вважали оболонку тонкої, однак, у зв'язку з тим, що вона закріплена в полюсах, в моделі враховували моментні складові. Матеріал оболонки абсолютно пружний.

Рідина передбачається ідеальної стисливої. Форма бульбашки залишається сферичної в процесі його пульсацій. Для побудови математичної моделі використовували сферичну систему координат з початком у центрі сфери. Тоді будь-яка точка системи буде мати координати $M(\theta; \varphi; r)$. Так як розглядаємо серединну поверхню оболонки, то для завдання точок на ній достатньо знати координатні кути. Математична модель системи складається з трьох підсистем рівнянь: динаміки оболонки, динаміки рідини і пульсацій бульбашки. Для визначення переміщень оболонки і кутів повороту використовуємо рівняння руху оболонки в сферичній системі координат [1]:

$$\frac{\partial T_{11}}{\partial \theta} + \frac{1}{\sin \theta} \frac{\partial T_{12}}{\partial \varphi} + (T_{11} - T_{22}) \operatorname{ctg} \theta + Q_1 + Rq_1 = \rho R h \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}; \quad (1)$$

$$\frac{\partial T_{12}}{\partial \theta} + \frac{1}{\sin \theta} \frac{\partial T_{22}}{\partial \varphi} + 2T_{12} \operatorname{ctg} \theta + Q_2 + Rq_2 = \rho R h \frac{\partial^2 v}{\partial t^2}; \quad (2)$$

$$\frac{\partial Q_1}{\partial \theta} + \frac{1}{\sin \theta} \frac{\partial Q_2}{\partial \varphi} + Q_1 \operatorname{ctg} \theta - T_{11} - T_{22} + Rq_3 = \rho R h \frac{\partial^2 w}{\partial t^2}; \quad (3)$$

$$\frac{\partial M_{11}}{\partial \theta} + \frac{1}{\sin \theta} \frac{\partial M_{12}}{\partial \varphi} + (M_{11} - M_{22}) \operatorname{ctg} \theta = Q_1 R + \frac{\rho h^3 R}{12} \frac{\partial^2 \theta^*}{\partial t^2}; \quad (4)$$

$$\frac{\partial M_{12}}{\partial \theta} + \frac{1}{\sin \theta} \frac{\partial M_{22}}{\partial \varphi} + 2M_{12} \operatorname{ctg} \theta = Q_2 R + \frac{\rho h^3 R}{12} \frac{\partial^2 \varphi^*}{\partial t^2}, \quad (5)$$

де: R - радіус серединної поверхні оболонки, q_i - складові сумарного тиску на поверхню оболонки, ρ - щільність оболонки, h - товщина оболонки, u, v, w - компоненти переміщення серединної поверхні, θ^*, φ^* - кути повороту серединної поверхні вздовж відповідних координатних ліній, $T_{11}, T_{22}, T_{12} = T_{21}$ - сили, що діють на одиницю довжини відповідної майданчика, $M_{11}, M_{22}, M_{12} = M_{21}$ - моменти серединної поверхні, Q_1, Q_2 - перерізуючим сили.

Система доповнена фізичними та геометричними співвідношеннями, які визначені через переміщення і повороти оболонки.

Для контролю виконання гіпотези про малих пружних деформаціях оболонки використовували умова Губера-Мізеса.

При дослідженні процесів, що відбуваються в рідині, використовували хвильове рівняння в сферичних координатах [2]:

$$\frac{\partial^2 f}{\partial t^2} = c^2 \left[\frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial f}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2 \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\sin \theta \frac{\partial f}{\partial \theta} \right) + \frac{1}{r^2 \sin^2 \theta} \frac{\partial^2 f}{\partial \varphi^2} \right], \quad (6)$$

де: f - потенціал швидкості рідини і швидкість звуку в не збудженій рідині рідини.

Для дослідження пульсацій бульбашки і тиску в ньому мали рівнянням балансу енергії в газовій порожнині [3]:

$$\frac{1}{\gamma - 1} \frac{d}{dt} (P_p \cdot V_p) + P_p \frac{dV_p}{dt} = N(t), \quad (7)$$

де: R_p - радіус бульбашки, P_p - тиск в бульбашці, γ - показник адіабати газу в бульбашці.

Для опису пульсації бульбашки використовували двошаровий за часом метод Ейлера-Коші. Для вирішення хвильового рівняння та системи, яка описує рух оболонки, застосовували тришарову схему «хрест», яка володіє хорошими дифузійними і дисперсійними властивостями.

Зв'язок між блоками математичної моделі здійснювалася за допомогою граничних умов на контактному розриві.

У початковий момент часу система знаходилася в стані статичної рівноваги. Зі стану рівноваги система виводилася шляхом введення енергії в пухирець, або шляхом зміни навантаження на оболонку в локальній області її поверхні.

Тестування моделі виконували на основі фундаментальних фізичних принципів, які включають перевірку збереження рівноваги системи у відсутності збурень, швидкості поширення поздовжніх і поперечних хвиль в

оболонці, хвиль в рідині і власних частот коливань бульбашки і оболонки, що збігаються з відомими результатами.

Результати тестування показують, що розроблена математична модель адекватно описує трикомпонентну динамічну систему.

ЛИТЕРАТУРА

1. Григолюк Э.И., Селезов И.Т. Итоги науки и техники: Механика твёрдых деформируемых тел., Т.5, М.: 1973. – 272с.
2. Сташкевич А.П. Акустика моря. Ленинград: Судостроение, 1966 – 350.
3. Наугольный К.А., Рой Н.А. Электрические разряды в воде. М.: Наука, 1977. – 151.

УДК 621.3.042(088.8)

НАПРЯМ УДОСКОНАЛЕННЯ СТАТИЧНИХ ІНДУКЦІЙНИХ ПРИБРОЇВ НА ОСНОВІ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ СИСТЕМ З БАГАТОПЛОЩИННИМИ ТВІРНИМИ ПОВЕРХНЯМИ І МЕТОД ЇХ СТРУКТУРНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ

Плахтир О.О., к.т.н., доцент

Миколаївський національний аграрний університет

Розглянуто особливості, засоби удосконалення та показники порівняльного аналізу варіантів конструкторсько-технологічних рішень електромагнітних систем з багатоплощинними твірними поверхнями статичних індукційних пристроїв.

Рассмотрены особенности, способы усовершенствования и показатели сопоставительного анализа вариантов конструкторско-технологических решений электромагнитных систем с многоплоскостными образующимим поверхностями статических индукционных устройств.

Основним типом електромагнітної системи (ЕМС) трифазних статичних індукційних пристроїв (СП) є асиметрична планарна з шихтованими магнітопроводами [1,2]. Такі магнітопроводи містять стрижні і ярма прямокутного перерізу (ЕМС малої потужності і початкових габаритів