

$$\overline{P} = J \overline{\sigma} J^{-1}$$

donde:

\overline{P} Primer Tensor de Esfuerzo de Piola-Kirchoff

J Jacobiano de la Transformación de coordenadas entre las configuraciones deformadas y no deformada

$\overline{\sigma}$ Tensor de Esfuerzo de Cauchy

J^{-1} Tensor gradiente de deformación

Este tensor es un tensor asimétrico (aún para medios no polares) y se le conoce también como el tensor de esfuerzo nominal. La asimetría de este tensor complica la formulación de ecuaciones constitutivas al tratar de combinarlo con el tensor de deformación, que es simétrico. Para sortear este inconveniente se define el Segundo Tensor de Esfuerzo de Piola - Kirchoff, dado por:

$$\overline{T} = \overline{P} (J^{-1})^T$$

en términos del tensor de Cauchy

$$\overline{T} = J F^{-1} \overline{\sigma} (J^{-1})^T$$

Este tensor es simétrico (para medios no polares). Los tensores Primero y Segundo de Piola - Kirchoff se reducen al tensor de Cauchy si en el análisis se consideran gradientes de desplazamiento infinitesimales.

Conclusión.

De acuerdo a lo expuesto anteriormente se concluye que en una formulación general de las ecuaciones de campo, el tensor de esfuerzo es, en general, asimétrico y que la simetría del tensor corresponde a un caso particular que se podría obtener luego de hacer simplificaciones en las ecuaciones generales. ♦

Referencias.

1. Gere, J.M. y Timoshenko, S.P., Mecánica de Materiales, 2^{da} ed., Grupo Editorial Iberoamérica, México, 1986.
2. Dym, C.L. y Shames, I.H. ; Solid Mechanics, 1^{ra} ed., McGraw - Hill, New York, 1973.
3. Shigley, J.E. y Mischke, C.R. ; Diseño en Ingeniería Mecánica, 5^{ta} ed. McGraw - Hill, México, 1990.
4. Reissner, E. ; "Note on the Theorem of the Symmetry of the Stress Tensor", Journal of Mathematics and Physics, Vol 25, 1946.
5. Segel, L.A. ; Mathematics Applied to Continuum Mechanics, 2nd ed., Dover, New York, 1987.
6. Frederick, D. Y Chang, T.S.; Continuum Mechanics, 1st ed., Scientific Publishers, Inc., Cambridge, 1972.
7. Malvern, L.E.; Introduction to the Mechanics of a Continuous Medium, 1st ed., Prentice - Hall, Inc., Englewood Cliffs, 1969.

Capacidad teórica de plantas mareomotrices de bombeo vertical

Dr. Anatoli MARKELOV, Facultad de Ingeniería Mecánica

Existen diferentes tipos de instalaciones para convertir energía mareomotriz generalmente en energía eléctrica. El principio de conversión de energía consiste en el uso de una diferencia de niveles de agua oceánica a ambos lados de un dique que encierra un área oceánica. La diferencia de niveles causa una diferencia de presiones de agua dentro y fuera del dique, y bajo esta diferencia de presiones los chorros de agua que pasan a través del dique hacen rotar sistemas hidroturbinas-generadores produciendo de este modo energía eléctrica. El uso de dicho principio tradicional de

producción de energía eléctrica tiene una desventaja cardinal: la energía eléctrica se genera no constantemente, sino ciclicamente conforme a los ciclos de mareas. Esto significa que hay una secuencia de periodos alternantes de ausencia y generación de energía eléctrica con un período igual al período de mareas oceánicas (aproximadamente 6 horas), que en la práctica causa serias incomodidades al usar la energía eléctrica obtenida por medio de dicho principio.

En el presente trabajo analizaremos un nuevo principio de transformación de energía mareomotriz en energía

eléctrica que todavía no ha sido realizado en la práctica ingenieril para generar energía eléctrica continuamente en cualquier escala. La idea principal consiste en una múltiple (digamos, doble) conversión de energía: primeramente la energía cíclica de mareas se convierte en la energía potencial de agua oceánica acumulada en un depósito ubicado en una altura con respecto al nivel del océano, y después la energía potencial de agua oceánica se convierte continuamente en la energía eléctrica. La primera fase (cíclica) de conversión de la energía mareomotriz la transforma en energía potencial de agua oceánica se realiza por medio de plantas especiales mareomotrices de bombeo vertical, la segunda fase (continua) de conversión de la energía potencial en la energía eléctrica se realiza por medio de una estación hidroeléctrica estándar. El agua oceánica pasada por las turbinas de la central se dirige al océano.

Consideremos una planta mareomotriz de bombeo vertical e indiquemos la capacidad teórica de este tipo de planta con respecto al área del océano ocupado por esta planta. La planta consta de un flotador con el peso específico igual a 0.5 del peso específico de agua oceánica que puede desplazarse verticalmente a lo largo de barras verticales fijadas en el fondo del océano. El flotador puede fijarse en sus posiciones verticales extremas a las barras así acumulando la energía potencial

del agua que se mueve cíclicamente al cambiar el nivel del océano durante el proceso de mareas. Cuando el nivel del océano alcance su valor extremo opuesto, un sistema de control libera el flotador que empieza a moverse verticalmente bajo la acción de la fuerza de gravedad o bajo el Principio de Arquímedes. El flotador está unido con un émbolo de un cilindro fijado en el fondo del océano. El cilindro a través de un juego de válvulas y un sistema de tuberías se une con el depósito de agua oceánica ubicado en una altura de decenas de metros con respecto al nivel del océano. Al liberarse, el flotador empuja el émbolo el cual bombea el agua oceánica desde el cilindro al depósito de agua.

Desde el depósito el agua salada se baja continuamente hacia la central hidroeléctrica que produce energía eléctrica. El caudal continuo de salida de agua oceánica desde el depósito es de tal magnitud que en el depósito siempre se encuentra una cantidad de agua oceánica lo que asegura la producción continua de energía eléctrica.

La pregunta principal es sobre la capacidad teórica de un área estándar (digamos, 1 m²) de la superficie oceánica, con una cierta magnitud de diferencia de niveles extremos de mareas, para producir continuamente potencia utilizando el principio de transformación de energía por medio de la planta de bombeo vertical descrita. Los estudios del problema nos dan los resultados siguientes.

Si designamos con d la diferencia de niveles extremos del océano (en metros) y teniendo en cuenta que mientras el flotador esté sumergiendo o emergiendo la fuerza de presión que el émbolo efectúa sobre el agua oceánica que está bombeando se cambia linealmente con respecto a la magnitud de desplazamiento vertical, se puede mostrar que la energía específica de 1 m² de superficie oceánica es igual aproximadamente a:

$$4900*d*d \text{ Joule/m}^2$$

por un ciclo mareomotriz. Al aceptar que el periodo de mareas es igual a 6 horas, podemos evaluar la potencia específica continua de 1 m² de superficie oceánica que es igual aproximadamente a:

$$P = 0.227*d*d \text{ W/m}^2.$$

En la tabla presentamos algunos valores de la potencia teórica específica (en W/m²) en dependencia de la diferencia de niveles del océano (en metros).

Tabla 1
Energía Específica por Diferencia de Niveles.

Diferencia de niveles	Energía específica
2	0.908
3	2.043
4	3.632
5	5.675
6	8.172

La tabla 1 muestra que para una diferencia de niveles del océano igual a 4 metros (lo que tenemos en la costa pacífica de Panamá) un área oceánica igual a 100mX100m = 10,000 m² puede generar teóricamente 36.6 KW de energía eléctrica continuamente.

El potencial energético que es posible lograr a través de las plantas mareomotrices, podría tener una gran utilidad en proyectos aplicados al funcionamiento del Canal de Panamá; a través de los cuales se podría lograr no sólo el aprovechamiento de la energía generada, si no también el ahorro consecuente del agua que se utiliza durante la operación del Canal y con la cual también se abastece parte de la Ciudad de Panamá. ♦

"Los años enseñan muchas cosas que los días desconocen"

Emerson