

Resumo

Os cais são estruturas que servem para o atraque de embarcações. O navio que chega ao cais é ligado a este com o fim de impedir que ocorram grandes deslocamentos relativos entre eles; para alcançar este objectivo utiliza-se um sistema de amarre formado por cabos e defensas. Nesta situação as embarcações estão expostas a diversas forças produzidas pela acção do vento, ondas, corrente e demais factores ambientais; na presente dissertação expõe-se um dos métodos que pode ser utilizado para determinar as forças estáticas de vento e corrente às quais eventualmente pode estar sujeita uma embarcação, e também se apresentam alguns conceitos dinâmicos de interesse como as equações de movimento, e discutem-se as dificuldades de resolução, por via estritamente teórica, da magnitude, carácter e importância relativa das acções das ondas.

Um dos aspectos a considerar para o correcto dimensionamento das estruturas de amarração e acostagem são as forças que lhe transmitem os cabos, cadeias de ancoragem e defensas que actuam na embarcação. O cálculo destas forças pode ser extenso e complexo; para facilitar o cálculo destas forças, desenvolveu-se um programa denominado *Amarre* que funciona em Visual Basic aplicado a Excel e que permite obter as forças de amarre de uma maneira rápida, simples e confiável.

Amarre utiliza o método da rigidez aplicando a análise matricial para obter as forças e deformações do sistema de amarração. É necessário desenvolver e deduzir as matrizes e equações para o sistema específico (o navio e os seus elementos de amarração); considerando o pré-esforço dos cabos, a não linearidade do comportamento dos materiais que constituem as defensas e a não linearidade das cadeias de ancoragem (catenárias).

O usuário deve introduzir as coordenadas globais do centro de gravidade do navio e as distintas forças externas aplicadas no seu centro de gravidade. Para os cabos de amarração é necessário introduzir as coordenadas globais de cada cabeço de amarração, as coordenadas locais de cada guincho de amarração, o pré-esforço inicial de cada cabo, e a curva de comportamento Força-Deformação. A curva consiste em doze pares de pontos, onde as forças devem ser dadas em ordem ascendente. Os

dados de entrada das defensas são: posição X (em coordenadas globais) de cada defesa, comprimento, curva de comportamento Força-Deformação que segue as mesmas especificações que a curva dos cabos. Para as cadeias é necessário introduzir: as coordenadas globais de cada bóia, as coordenadas locais de cada guincho de amarração. Dado que as cadeias têm um comportamento de catenária, para definir a sua curva será preciso introduzir: a profundidade da água, o comprimento da cadeia, peso submerso, força horizontal máxima, o peso da âncora e o seu factor de segurança, e em caso de existir, o peso do 'sinker' adicional.

Estes dados são processados pelo programa. Primeiramente determina-se a curva catenária de comportamento de cada cadeia segundo um processo iterativo; depois transformam-se as coordenadas locais dos guinchos de amarração em coordenadas globais, para assim poder determinar os cosenos directores de cada elemento e com estes a sua matriz de rigidez, assemblando a matriz de rigidez da estrutura. Se a estrutura for instável, o programa indica-o numa mensagem. Caso contrário, determinam-se as forças locais em cada membro. Devido à não linearidade que apresentam as curvas de comportamento é necessário realizar um processo iterativo actualizando em cada iteração o valor da rigidez dos elementos, até obter a convergência; em todo este processo verifica-se sempre que o determinante da matriz de rigidez da estrutura seja maior que zero, assim como também se verifica que nenhum cabo esteja a trabalhar em compressão e que nenhuma defesa esteja a trabalhar em tracção. Após obter a convergência do problema não linear, determinam-se as forças nos cabeços de amarração. Por último apresentam-se os resultados: deslocamento do navio, forças locais em cada elemento e forças nas cabeços de amarração. Estes valores são necessários para o dimensionamento do cais e dos elementos de amarração.

Utilizando o programa desenvolvido realiza-se um estudo paramétrico onde se comparam as variáveis mais características dos sistemas de amarração e defesa – a não linearidade no comportamento das defensas, as distribuições dos cabos nas configurações de amarração, tipo de navio e introdução de cadeias de ancoragem – efectuando assim uma análise mais completa do sistema que poderá ajudar a melhorar o critério do engenheiro no momento de projectar estruturas de amarração.

Abstract

Docks are structures for berthing and mooring ships. Once the ship arrives at the quay it is fixed with the purpose of diminishing the relative displacement between them both; in order to achieve this objective, a mooring system is used. In this situation the ships are exposed to diverse external forces produced by the action of the wind, waves, current and other environmental factors; in the present these is exposed one of the method that can be used to determine the static wind and current forces to which a vessel possibly can be subject, as well as some dynamic concepts of interest like the equations of motion, and the resolution difficulties are discussed, via strictly theoretical, of the magnitude, the character, and the relative importance of wave loads.

For the correct design of a mooring structure it is necessary to know the forces transmitted by the hawsers, chains and fenders. The calculation of these forces can be long and complex; to facilitate the calculation, a software called "*Amarre*" (which works in Visual Basic with Excel) has been developed. This software allows obtaining the mooring and fender forces in a simple and reliable way.

Amarre uses the matrix analysis to obtain the forces and deformations of the complex mooring and fender system. For that it was necessary to develop and to deduce the matrices and equations for the specific system: the ship and its mooring's elements; considering the prestressed of the moorings lines, the material nonlinearity of the behavior of the fenders and the nonlinearity of the anchorage chains (catenary).

The user has to introduce the gravity center coordinates of the ship and the external forces applied at the gravity center. Hawser data requested are: mooring point coordinates in global system, chock coordinates in local system, preload and load-extension curve. The curve consists of twelve pairs of load-deflection points, that must be given in ascending order. Fender input data are: the X coordinate of each fender, initial length and the load extension curve which follow the same rules at the curve for hawsers. Data for catenary chains are: chock coordinate in local system, buoy coordinates (X, Y) in global system. For computing the anchor chain load-extension catenary curve are necessary the following characteristics of the chain system: water

depth, lengths and unit weights of upper and lower chain sections, the maximum horizontal load, weight of anchor and safety factor, and sinker weight.

This data is processed in the program. The preliminary step is to compute the catenary curve of the behavior for each chain according to an iterative process; then local coordinates of chocks are transformed into global coordinates to obtain the direction cosines of each element and with that in hand, their stiffness matrix, assembling therefore the stiffness matrix of the structure. If the structure is unstable, the program will give a message alerting of that fact. If this is not the case, the local forces of each member are determined. Due to the non linear behavior of the curves it is necessary to use an iterative process, in which the value of the elements stiffness will be updated at each iteration, until obtaining convergence. In all this iterative process is verified the structure stability, as well as that no hawsers are working in compression and that no fenders are working in traction. After obtaining the convergence of the nonlinear problem, the forces in the mooring points are determined. Finally the results are presented: displacement of the ship, forces in each element and forces in the mooring points. This values are important for designing the mooring structures.

To improve the engineer criteria when designing a mooring structure, a parametric study was realized comparing the most important characteristics of the mooring systems – material nonlinearity of the behavior of the fenders, moorings lines configurations, vessel type and anchorage chains contribution.