



TRẦN CÔNG NGHỊ

TỰ ĐỘNG HÓA TÍNH TOÁN THIẾT KẾ TÀU



ĐẠI HỌC GIAO THÔNG VẬN TẢI TP HỒ CHÍ MINH

7 - 2009

Trần công nghị

TỰ ĐỘNG HÓA TÍNH TOÁN THIẾT KẾ TÀU

THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH 2009

ĐẠI HỌC GIAO THÔNG VẬN TẢI TP HỒ CHÍ MINH

Mục lục

Mở đầu	5
Chương 1: Phương pháp tính và tự động hóa ính toán thiết kế tàu	6
1.1 Nội suy Lagrange	6
1.2 Tích phân một lớp	8
1.3 Đa thức Legendre	11
1.4 Đa thức Tchebyshev	14
1.5 Tìm nghiệm bằng phương pháp chia đôi đoạn có nghiệm	15
1.6 Phương pháp tổng nhỏ nhất các bình phương	16
1.7 Qui hoạch tuyến tính	21
1.8 Qui hoạch phi tuyến	27
1.8.1 Hàm một biến	28
1.8.2 Hàm nhiều biến	29
1.8.3 Xác định min/max hàm một biến	30
1.8.4 Phương pháp sử dụng gradient	34
1.8.5 Phương pháp tìm trực tiếp (không qua giai đoạn tính gradient).	39
1.8.6 Phương pháp dùng hàm phạt penalty	43
Chương 2: Tính nổi và tính ổn định tàu	51
2.1 Tính nổi tàu thủy	51
2.1.1 Kích thước chính và các hệ số thân tàu	51
2.1.2 Tỷ lệ Bonjean	55
2.1.3 Tính thể tích phân chìm và cá đại lượng liên quan thể tích	55
2.1.4 Tính các đường thủy tĩnh trên máy cá nhân	58
2.1.5 Biểu đồ Firsov	60
2.2 Ổn định tàu.	61
2.2.1 Ổn định ngang ban đầu.	61
2.2.2 Ổn định tại góc nghiêng lớn.	62
2.2.3 Đồ thị ổn định.	65
2.3 Thuật toán xác lập họ đường Cross Curves (pantokaren)	65
2.4 Giới thiệu chương trình tính tính nổi tàu thủy	70
Chương 3: Sức cản vỏ tàu	78
3.1 Sức cản vỏ tàu	77
3.2 Công suất hữu hiệu	81
3.3 Các phương pháp kinh nghiệm tính sức cản vỏ tàu	81
Chương 4: Thiết kế chân vịt tàu thủy	95
4.1 Đặc tính hình học chân vịt	95
4.2 Vẽ chân vịt	97
4.3 Đặc tính thủy động lực	98
4.4 Đồ thị thiết kế chân vịt	102
4.5 Tính hệ số dòng theo, hệ số lực hút	106
4.6 Xâm thực chân vịt	109
4.7 Độ bền cánh chân vịt	114
4.8 Thiết kế chân vịt bước cố định	118
4.9 Lập chương trình thiết kế chân vịt tàu	126
4.10 Vẽ chân vịt trên máy PC	135

Chương 5: Thiết kế tối ưu tàu thủy	148
5.1 Đánh giá các chỉ tiêu kinh tế – kỹ thuật của tàu	148
5.2 Sơ đồ tính hiệu quả kinh tế	150
5.3 Tự động thiết kế tàu vận tải	151
 Tài liệu tham khảo	 172

Mở đầu

“**Tự động hóa tính toán, thiết kế tàu**” trình bày cách tính toán, thuật toán phục vụ việc lập chương trình tính năng tàu thủy, tính di chuyển, thiết bị đẩy tàu và tự động hóa vẽ tàu. Sau mười năm sử dụng sách cho chuyên đề này những người viết chỉnh, sửa, viết lại phù hợp thực tế. Sửa chữa và bổ sung lần này nhằm làm cho tài liệu sát đề cương giảng dạy và học tập tại trường Đại học Giao thông Vận tải Tp Hồ Chí Minh.

Hy vọng rằng sách có ích cho những người đang theo học đóng tàu và công trình nổi cũng như các đồng nghiệp đang làm việc trong cùng lĩnh vực.

Thành phố Hồ Chí Minh tháng 6 năm 2009.

Người viết

“Mở đầu” lần in thứ nhất

“**Tự động hóa tính toán, thiết kế và đóng tàu**” bao gồm hướng dẫn tính toán, chương trình tính phục vụ những môn học tàu thủy tại trường đại học. Những đề tài trong tài liệu này: ***Thiết kế tàu, Tính nổi và tính ổn định, Sức cản vỏ tàu và thiết bị đẩy tàu, Qui hoạch tuyến tính, qui hoạch phi tuyến và ứng dụng của lý thuyết này vào thiết kế tối ưu tàu thủy, Spline và ứng dụng trong vẽ đường hình, khai triển vỏ tàu.***

Tài liệu được bố trí theo cách tiện lợi cho người đọc. Mở đầu mỗi chương bạn đọc có điều kiện ôn lại những hiểu biết cần thiết về các phương pháp tính liên quan đến nội dung của chương, có điều kiện làm quen chương trình tính viết bằng ngôn ngữ C áp dụng trong tính toán. Các chương trình nhỏ này còn được dùng cho những vấn đề liên quan với ngành tàu. Nội dung mỗi chương chỉ gồm những kiến thức đã được truyền đạt trong trường đại học chuyên ngành. Trên cơ sở những vấn đề đang được trình bày bạn đọc tìm hiểu thêm giải thuật xử lý những bài toán cụ thể đang đặt ra và cách hoàn thiện một chương trình máy tính dựa vào giải thuật vừa có.

Tài liệu có thể giúp ích cho sinh viên khoa đóng tàu, kỹ sư làm việc trong lĩnh vực đóng sửa tàu, thiết kế, nghiên cứu tàu cùng đồng đạo bạn đọc quan tâm đến tàu thủy khi tính toán tính năng, như tính nổi, ổn định, tính sức cản, chọn máy phù hợp, thiết kế mới, lập phương án đóng mới, lập phương án sửa chữa tàu vv...

Trong quá trình biên soạn tài liệu những người làm công tác chuẩn bị nhận được sự giúp đỡ chân thành và thiết thực của ban giám hiệu phân hiệu Đại học Hàng hải, phân khoa đóng tàu, bạn cùng nghề và những bạn bè xa, gần. Những đóng góp quý giá về nội dung, về biên soạn và hiệu chỉnh tài liệu, hiệu chỉnh các bản in thử vv... đã làm cho tài liệu có nội dung phù hợp hơn, tránh được nhiều sai sót. Xin chân thành cảm ơn về sự đóng góp quý giá trên. Người viết căn cứ sự giúp đỡ, chỉ dẫn trên đã cố gắng hoàn chỉnh tài liệu kịp ra mắt bạn đọc, tuy nhiên vì khả năng có hạn chắc rằng trong tài liệu vẫn còn những sai sót khó tránh. Rất mong bạn đọc gần, xa góp thêm ý kiến nhằm làm cho tài liệu ngày càng hoàn thiện. Thư, bài góp ý, xây dựng xin gửi về phân hiệu Đại học Hàng Hải, thành phố Hồ Chí Minh.

Thành phố Hồ Chí Minh tháng 12 năm 2000.

Chương 1

PHƯƠNG PHÁP TÍNH VÀ TỰ ĐỘNG HÓA TÍNH TOÁN, THIẾT KẾ TÀU

Trong chương này giới thiệu những phương pháp tính thông dụng dùng xử lý những vấn đề thường gặp trong tính toán nổi tàu thủy, tính ổn định tàu, thiết kế máy đẩy tàu, thiết kế tối ưu tàu thủy.

1.1 NỘI SUY LAGRANGE

Đa thức nội suy Lagrange được viết dưới dạng¹:

$$f(x) = p_n(x) + R_n(x), \quad (1.1)$$

hoặc dạng đầy đủ:

$$f(x) = \sum_{i=0}^n L_i(x) f(x_i) + \left[\prod_{i=0}^n (x - x_i) \right] \frac{f^{(n+1)}(\xi)}{(n+1)!}, a < \xi < b \quad (1.2)$$

$$\text{trong đó } L_i(x) = \prod_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^n \left(\frac{x - x_j}{x_i - x_j} \right) \quad (1.3)$$

Đa thức $p_n(x) = \sum_{i=0}^n L_i(x) f(x_i)$ mang tên gọi đa thức Lagrange, còn về sau của phía phải công thức gọi hàm sai số.

Đa thức $p_n(x)$ mặt khác được hiểu là đa thức bậc n, có dạng:

$$\begin{aligned} p_n(x) = & a_0(x - x_1)(x - x_2) \dots (x - x_n) + \\ & + a_1(x - x_0)(x - x_2) \dots (x - x_n) + \\ & + a_2(x - x_0)(x - x_1) \dots (x - x_n) + \\ & \dots \\ & + a_i(x - x_0)(x - x_1) \dots (x - x_{i-1})(x - x_{i+1}) \dots (x - x_n) \\ & \dots \\ & + a_n(x - x_0)(x - x_1) \dots (x - x_{n-2})(x - x_{n-1}) \end{aligned} \quad (1.4)$$

Các hệ số $a_0, a_1, a_2, \dots$ tính từ quan hệ:

$$p_n(x_i) = f(x_i) = y_i \quad ; \quad i = 0, 1, 2, \dots \quad (1.5)$$

Lần lượt thay $x = x_0, x = x_1, \dots$ vào công thức cuối có thể xác định công thức tính các hệ số.

Ví dụ, từ $p_n(x_0) = y_0 = a_0(x_0 - x_1)(x_0 - x_2) \dots (x_0 - x_n)$ sẽ nhận được:

$$a_0 = \frac{f(x_0)}{(x_0 - x_1)(x_0 - x_2) \dots (x_0 - x_n)}$$

tương tự vậy có thể viết:

¹ R.W. Hamming, “*Numerical Methods for Scientists and Engineers*”, McGraw-Hill, N.Y., 1962,
F.B. Hildebrand, “*Introduction to Numerical Analysis*”, McGraw-Hill, N.Y., 1956.

$$a_1 = \frac{f(x_1)}{(x_1 - x_0)(x_1 - x_2) \dots (x_1 - x_n)}$$

$$\dots$$

$$a_n = \frac{f(x_n)}{(x_n - x_0)(x_n - x_1) \dots (x_n - x_{n-1})}$$

Hệ số thứ i mang dạng chung:

$$a_i = \frac{f(x_i)}{(x_i - x_0)(x_i - x_1) \dots (x_i - x_{i-1})(x_i - x_{i+1}) \dots (x_i - x_n)} \quad (1.6)$$

Thay các biểu thức vừa xác định vào vị trí $a_0, a_1, \dots, a_n$ sẽ nhận được công thức nội suy hay còn gọi đa thức Lagrange:

$$p_n(x) = \frac{(x - x_1)(x - x_2) \dots (x - x_n)}{(x_0 - x_1)(x_0 - x_2) \dots (x_0 - x_n)} y_0 + \frac{(x - x_0)(x - x_2) \dots (x - x_n)}{(x_1 - x_0)(x_1 - x_2) \dots (x_1 - x_n)} y_1 +$$

$$+ \dots + \frac{(x - x_0)(x - x_1) \dots (x - x_{n-1})}{(x_n - x_0)(x_n - x_1) \dots (x_n - x_{n-1})} y_n \quad (1.7)$$

hoặc dưới dạng gọn hơn như đã trình bày $p_n(x) = \sum_{i=0}^n L_i(x) f(x_i)$, với $L_i(x) = \prod_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^n \left(\frac{x - x_j}{x_i - x_j} \right)$.

Những trường hợp riêng lẻ của hàm nội suy Lagrange như sau.

với $n=1$:

$$p_1(x) = \frac{(x - x_1)}{(x_0 - x_1)} y_0 + \frac{(x - x_0)}{(x_1 - x_0)} y_1 \quad (1.8)$$

với $n=2$:

$$p_2(x) = \frac{(x - x_1)(x - x_2)}{(x_0 - x_1)(x_0 - x_2)} y_0 + \frac{(x - x_0)(x - x_2)}{(x_1 - x_0)(x_1 - x_2)} y_1 + \frac{(x - x_0)(x - x_1)}{(x_2 - x_0)(x_2 - x_1)} y_2 \quad (1.9)$$

Hàm $p_1(x)$ là đoạn thẳng qua hai điểm (x_0, y_0) (x_1, y_1) , có tên gọi công thức nội suy tuyến tính. Hàm thứ hai là đường parabol bậc hai qua ba điểm cho trước, gọi là nội suy bậc hai.

Chương trình hóa phương pháp nội suy Lagrange được thể hiện bằng thuật toán Neville và minh họa tại hàm bằng ngôn ngữ C sau.

```
#include <math.h>
void Lagrange(xa, ya, n, x, y, dy)
float xn[], ya[], x,*y, *dy;
int n;
{
    int i, m, ns=1;
    float den, dif, dift, h0, hp, w;
    float *c, *d, *vector();
    dif = fabs(x - xa[q]);
    c = vector(1,n);
    d = vector(1,n);
    for (i=1; i<=n; i++) {
        if ( ( dift = fabs(x - xa[i]) ) < dif) {
            ns=i;

```

```

        dif = dift;
    }
    c[i] = ya[i];
    d[i] = ya[i];
}
*y = ya[ns--];
for ( m=1; m<n; m++) {
    for (i=1; i <= n-m; i++) {
        h0= xa[i] -x;
        hp = xa[i+m] - x;
        w = c[i+1] - d[i];
        if ((den=h0-hp) == 0.0) nerror("Error here !");
        den = w/den;
        d[i] = hp*den;
        c[i] = h0*den;
    }
}
*y += (*dy=(2*ns < (n-m) ? c[ns+1]: d[ns--] ));
}
free_vector(d,1,n);
free_vector(c,1,n);
}

```

1.2 TÍCH PHÂN MỘT LỚP

Giả sử cần thực hiện tích phân hàm $f(x)$ từ a đến b , có thể tiến hành tích từng phân đoạn và sau đó tổng hợp kết quả. Đoạn $[a, b]$ được chia làm n phân đoạn bằng nhau, giới hạn bằng các nút, trong đó nút đầu tiên $x_0 = a$, tiếp đó $x_1, x_2, \dots, x_{n-1}, x_n = b$. Giá trị hàm $f(x)$ được xác định cho tất cả các nút.

Nếu ký hiệu: $h = \frac{b-1}{n} = x_{k+1} - x_k$, mang tên gọi bước, có thể thay biến x bằng biến mới như sau:

$$p = \frac{x - x_k}{h}.$$

Hàm $f(x)$ giờ có thể viết:

$$f(x) = f(x_0 + ph) = f(x_0) + p.\Delta f(x_0) + \frac{p(p-1)}{2!}\Delta^2 f(x_0) + \dots + R(x_0 + p.h) \quad (1.10)$$

trong đó hàm sai số được tính theo công thức:

$$R(x_0 + ph) = h^{n+1} p(p-1)\dots(p-n)/(n+1)! * [f^{(n+1)}(\xi) / 2!], \quad \xi \in (x_0, x_n). \quad (1.11)$$

Công thức tính tích phân nêu trên có thể viết thành:

(1) Trong đa thức cuối chỉ giữ lại một thành phần đầu tiên, kết quả nhận được công thức tính **tích phân theo nguyên tắc hình chữ nhật**.

$$\int_a^b f(x)dx \cong \sum_{k=0}^{n-1} \int_{x_k}^{x_{k+1}} f(x_k)dx = \sum_{k=0}^{n-1} hf(x_k) = h[f(x_0) + \dots + f(x_{n-1})]$$

(2) Nếu giữ lại hai thành phần đầu của biểu thức, kết quả sẽ nhận được công thức tính **tích phân theo luật hình thang**:

$$\int_a^b f(x)dx \cong \sum_{k=0}^{n-1} \int_{x_k}^{x_{k+1}} f(x_k)dx = \sum_{k=0}^{n-1} h \int_0^1 [f(x_k) + p\Delta f(x)]du = h \sum_{k=0}^{n-1} \frac{f(x_k) + f(x_{k+1})}{2} =$$

$$= h[f(x_0)/2 + f(x_1) + \dots + f(x_{n-1}) + f(x_n)/2]$$

(3) **Công thức Simpson** được tính theo luật trên đây khi giữ lại ba thành phần đầu tiên của chuỗi.

$$\int_a^b f(x)dx \cong \sum_{k=0,2,\dots}^{2n-2} \int_{x_k}^{x_{k+2}} f(x_k)dx = \sum_{k=0,2,\dots}^{2n-2} h \int_0^2 [f(x_k) + p\Delta f(x_k) + \frac{p(p-1)}{2!} \Delta^2 f(x_k)]du =$$

$$= \frac{h}{3} \sum_{k=0,2,\dots}^{2n-2} [f(x_k) + 4f(x_{k+1}) + f(x_{k+2})] = \frac{h}{3} [f(x_0) + 4f(x_1) + 2f(x_2) + \dots + 4f(x_{2n-1}) + f(x_{2n})]$$

Hàm bằng ngôn ngữ C, thực hiện tích phân theo phương pháp hình thang được trình bày tiếp dưới đây.

```
#define FUNC(x) ((*func) (x) )
float trapezd( func, a, b, n)
float a, b;
float (*func) ();
int n;
{
    float x, tnm, sum, del;
    static float s;
    static int it;
    int j;

    if (n == 1) {
        it=1;
        return (s=0.5* (b-a) *(FUNC(a) +FUNC(b) ));
    }
    else
    {
        tnm = it;
        del = (b-a)/tnm;
        x = a + 0.5*del;
        for (sum=0.0, j=1; j<it; j++, x+=del) sum += FUNC(x);
        it *= 2;
        s=0.5* (s + (b-a)*sum / tnm);
        return s;
    }
}
```

Trường hợp khoảng chia theo trục Ox không bằng nhau, công thức tính theo đề nghị của Milne² được sử dụng. Tích phân hàm f(x) trong phân đoạn xác định bằng ba nút được tính theo đề nghị của Milne:

$$\int_{x_1}^{x_3} f_i(x)dx = a_1 f_i(x_1) + a_2 f_i(x_2) + a_3 f_i(x_3) \quad (1.12)$$

Nếu gán f_i(x) các giá trị 1, x và x², các ẩn số a_i được xác định theo công thức:

² Milne, W.E. "Numerical Calculus", Princeton, 1949

$$\begin{aligned}
 a_3 &= (x_3 - x_1) \left[\frac{1}{2} - \frac{1}{6} \frac{x_3 - x_1}{x_3 - x_2} \right]; \\
 a_2 &= \frac{1}{6} \frac{(x_3 - x_1)^3}{(x_2 - x_1)(x_3 - x_2)}; \\
 a_1 &= x_3 - x_1 - a_2 - a_3
 \end{aligned} \tag{1.13}$$

Hàm viết bằng ngôn ngữ C xử lý tích phân giới hạn biến thiên được thể hiện như sau.

$$\text{integrationv} = \int_0^x f(x) dx$$

```

void integrationv(int N, float *X, float *f, float *Ans)
{
    register i, ii, n2;
    float d1, d2, d3, a1, a2, a3;
    n2 = N / 2;
    Ans[0] = 0.0;
    for (i = 1; i <= n2; i++) {
        ii = 2*i-1;
        d1 = X[ii] - X[ii-1];
        Ans[ii] = Ans[ii-1] + d1/2.0 * (f[ii] + f[ii-1]);
        if (ii != N-1) {
            d2 = X[ii+1] - X[ii-1];
            d3 = d2/d1;
            a2 = d3/6.0 * sqr(d2) / (X[ii+1] - X[ii]);
            a3 = d2/2.0 - a2/d3;
            Ans[ii+1] = Ans[ii-1] + (d2 - a2 - a3) *
                f[ii-1] + a2*f[ii] + a3*f[ii+1];
        }
    }
}

```

Cách làm trên đây được áp dụng tính gần đúng tích phân, trong đó các bước chia trên trục không bắt buộc đều nhau, số phân đoạn lớn hơn 1, được thể hiện tại hàm sau đây:

```

float integ(int N, float *X, float *f)
{
    int M, Lb, k;
    float Sum;
    M = N-1;
    Sum = (X[1] - X[0]) / 6.0 * (f[0] * ((X[1] - X[2]) / (X[0] - X[2]) + 2.0) +
        f[1] * ((X[0] - X[2]) / (X[1] - X[2]) + 2.0) - f[2] * sqr(X[1] - X[0]) /
        ((X[0] - X[2]) * (X[1] - X[2])));

    Lb = 1;
    if (N != 3) {
        Sum = Sum + (X[2] - X[1]) / 6.0 * (f[1] * ((X[2] - X[3]) / (X[1] - X[3]) + 2.0) +
            f[2] * ((X[1] - X[3]) / (X[2] - X[3]) + 2.0) - f[3] * sqr(X[2] - X[1]) /
            ((X[1] - X[3]) * (X[2] - X[3])));
        Lb = 2;
    }
    for (k = Lb; k < M; k++)
        Sum = Sum + (X[k+1] - X[k]) / 6.0 * (f[k] * ((X[k+1] - X[k-1]) / (X[k] - X[k-1]) + 2.0)

```

```

+ f[k+1] * ((X[k]-X[k-1]) / (X[k+1]-X[k-1]) + 2.0) - f[k-1] *
sqr(X[k+1]-X[k]) / ((X[k]-X[k-1]) * (X[k+1]-X[k-1]));
return Sum;
}

```

1.3 ĐA THỨC LEGENDRE

Đa thức Legendre trực giao trong đoạn $[-1, 1]$, được hiểu như sau:

$$\int_{-1}^{+1} P_n(x) P_m(x) dx = 0, n \neq m \quad (1.14)$$

$$\int_{-1}^{+1} P_n(x) P_n(x) dx = c(n) \neq 0$$

Một số ít đa thức $P_n(x)$ được viết dưới đây:

$$P_0(x) = 1,$$

$$P_1(x) = x,$$

$$P_2(x) = \frac{1}{2} (3x^2 - 1),$$

$$P_3(x) = \frac{1}{2} (5x^3 - 3x),$$

$$P_4(x) = \frac{1}{8} (35x^4 - 30x^2 + 3)$$

Quan hệ hồi qui của đa thức Legendre có dạng:

$$P_n(x) = \frac{2n-1}{n} x P_{n-1}(x) - \frac{n-1}{n} P_{n-2}(x). \quad (1.15)$$

Áp dụng tính trực giao của đa thức $P_n(x)$ để xác định các tọa độ x_j nhằm giảm thiểu sai số khi tính.

Công thức tích phân Gauss-Legendre có dạng:

$$\int_a^b f(x) dx = \int_a^b p_n(x) dx + \int_a^b R_n(x) dx \quad (1.16)$$

Trong đó hàm $f(x)$ có thể viết: $f(x) = p_n(x) + R_n(x)$.

$$f(x) = \sum_{i=0}^n L_i(x) f(x_i) + \left[\prod_{i=0}^n (x - x_i) \right] \frac{f^{(n+1)}(\xi)}{(n+1)!}, a < \xi < b \quad (1.17)$$

trong đó
$$L_i(x) = \prod_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^n \left(\frac{x - x_j}{x_i - x_j} \right)$$

Nếu sử dụng biến z theo cách sau đây:

$$z = \frac{a+b}{2} + \frac{b-a}{2} x \quad (1.18)$$

hàm $f(x)$ có thể thay bằng $F(z)$, hàm Lagrange $L_i(x)$ có thể thay bằng $L_i(z) = \prod_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^n \left(\frac{z - z_j}{z_i - z_j} \right)$ còn

giới hạn tích phân trở thành -1 và $+1$, biến ξ nằm trong giới hạn $-1 < \xi < +1$.

Tích phân (1.19) trở thành:

$$\int_{-1}^{+1} F(z) dz = \int_{-1}^{+1} \sum_{i=0}^n L_i(z) F(z_i) dz + \int_{-1}^{+1} \left[\prod_{i=0}^n (z - z_i) \right] q_n(z) dz \quad (1.19)$$

Nếu bỏ vế sau bên phải của công thức có thể viết:

$$\int_{-1}^{+1} F(z) dz \cong \sum_{i=1}^n F(z_i) \int_{-1}^{+1} L_i(z) dz = \sum_{i=1}^n W_i F(z_i) \quad (1.20)$$

Từ công thức cuối có thể xác định:

$$w_i = \int_{-1}^{+1} L_i(z) dz = \frac{\int_{-1}^{+1} (z - z_0) \dots (z - z_{i-1})(z - z_{i+1}) \dots (z - z_n) dz}{(z - z_0) \dots (z - z_{i-1})(z - z_{i+1}) \dots (z - z_n)} \quad (1.21)$$

Vế thứ hai của phía phải $\int_{-1}^{+1} \left[\prod_{i=0}^n (z - z_i) \right] q_n(z) dz$ chính là sai số của phép tích phân số đang được xét.

Trong giai đoạn này cần thiết xác định vị trí của z_i trong đa thức Legendre nhằm làm cho vế này trượt tiêu. Tại đây sử dụng tính trực giao của hàm Legendre để đạt điều mong muốn. Khai triển

hai đa thức $q_n(z)$ và $\prod_{i=0}^n (z - z_i)$ dưới dạng sau đây:

$$\prod_{i=0}^n (z - z_i) = b_0 P_0(z) + b_1 P_1(z) + \dots = \sum_{i=0}^{n+1} b_i P_i(z) \quad (1.22)$$

và

$$q(z) = c_0 P_0(z) + c_1 P_1(z) + \dots = \sum_{i=0}^n c_i P_i(z) \quad (1.23)$$

Thay hai đa thức cuối vào biểu thức thuộc vế hai phía phải công thức (1.19) có thể viết:

$$\int_{-1}^{+1} \left[\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n b_i c_j P_i(z) P_j(z) + b_{n+1} \sum_{i=0}^n c_i P_i(z) P_{n+1}(z) \right] dz \quad (1.24)$$

Từ tính trực giao của đa thức Legendre có thể viết:

$$b_i c_j \int_{-1}^{+1} P_i(z) P_j(z) dz = 0; i \neq j \quad (1.25)$$

Từ đó, sai số phép tích phân được viết là:

$$\int_{-1}^{+1} \left[\prod_{i=0}^n (z - z_i) \right] q_n(z) dz = \int_{-1}^{+1} \sum_{i=0}^n b_i c_i [P_i(z)]^2 dz = \sum_{i=0}^n b_i c_i \int_{-1}^{+1} [P_i(z)]^2 dz \quad (1.26)$$

Từ phương trình cuối có thể xác định các nút tính toán. Các nút tìm bằng cách này gọi là các điểm zero của đa thức Legendre.

Giới hạn a, b trong công thức chung $\int_a^b f(z) dz$, có quan hệ với giới hạn chuẩn của hàm $f(x)$ như đã

trình bày $z = \frac{a+b}{2} + \frac{b-a}{2} x$.

Công thức tính tích phân theo Gauss-Legendre có dạng:

$$\int_a^b f(x)dx \cong (b-a) \sum_{i=1}^n W_i f(z_i) \quad (1.27)$$

Một số giá trị của nút và hệ số tính cho công thức trên như sau:

Bảng 1.1

n=1	$x_1 = 0,0$	$w_1 = 2,0$
n=2	$x_{1,2} = \pm 0,577350$	$a_{1,2} = 1,0$
n=3	$x_{3,1} = \pm 0,774597$	$a_{1,3} = 0,555556$
	$x_2 = 0,0$	$a_2 = 0,888889$
n=4	$x_{3,1} = \pm 0,861136$	$a_{1,4} = 0,347855$
	$x_{4,2} = 0,339981$	$a_{2,3} = 0,652145$

Ví dụ tính theo công thức Gauss-Legendre.

Tính giá trị tích phân sau $\int_1^2 \frac{dx}{x}$

Thay thế biến $z = 2x - 3$ và hàm $f(x)$ thành $F(z) = 2/(z+3)$. Tích phân $\int_1^2 \frac{dx}{x}$ có giá trị bằng tích phân $\int_{-1}^{+1} \frac{2}{z+3} dz$. Kết quả tính, với $n = 4$ sẽ có dạng:

Bảng 1.2

i	z_i	w_i	$F(z_i)$	$wF(z_i)$
0	0,0	0,5688889	0,333333	0,189629
1	0,5384693	0,4786287	0,282608	0,135264
2	-0,5384693	0,4786287	0,406251	0,1944435
3	0,9061798	0,2369269	0,256004	0,0606544
4	-0,9061798	0,2369269	0,4775959	0,1131553

Cộng: 0,6931471

Hàm viết bằng ngôn ngữ C cho trường hợp $n=10$ được ghi lại dưới đây.

```
float qgaus (func, a, b)
/* Gauss-Legendre formula */
float a,b;
float (*func) ();
{
    int j;
    float xr, xm, dx, s;
    static float x[] = {0.0, 0.1488743389, 0.4333953941,
        0.679409568, 0.8650633666, 0.9739065285};
    static float w[] = { 0.0, 0.2955242247, 0.269266719,
        0.2190863625, 0.149451349, 0.0666713443};
    xm=0.5* (b+a);
    xr=0.5* (b-a);
    s=0.0;
    for (j=1; j<=5; j++) {
        dx=xr*x[j];
        s += w[j]* (( *func) (xm+dx) + (*func) (xm-dx) );
    }
}
```

```

}
return s *= xr;
}

```

1.4 ĐA THỨC TCHEBYSHEV

Đa thức Tchebyshev, ký hiệu từ ký tự đầu tên nhà bác học $T_n(x)$, trực giao trong $[-1, 1]$ cùng hàm trọng lượng $w(x) = 1/\sqrt{1-x^2}$.

$$\int_{-1}^{+1} \frac{1}{\sqrt{1-x^2}} T_n(x) T_m(x) dx = 0, n \neq m \quad (1.28)$$

$$\int_{-1}^{+1} \frac{1}{\sqrt{1-x^2}} T_n(x) T_n(x) dx = c(n) \neq 0 \quad (1.29)$$

Những đa thức đầu có dạng sau.

$$T_0(x) = 1,$$

$$T_1(x) = x,$$

$$T_2(x) = 2x^2 - 1,$$

$$T_3(x) = 4x^3 - 3x.$$

Quan hệ hồi qui của đa thức Tchebyshev có dạng:

$$T(x) = 2xT_{n-1}(x) - T_{n-2}(x) \quad (1.30)$$

Công thức Gauss – Tchebyshev.

Tích phân hàm $f(x)$, giới hạn a, b theo công thức Gauss – Tchebyshev sẽ là:

$$\int_a^b f(x) dx = \frac{(b-a)}{2} \int_{-1}^{+1} f\left(\frac{a+b}{2} + \frac{b-a}{2} z\right) dz \quad (1.31)$$

Hàm trọng lượng được trình bày trên, cho phép viết tiếp:

$$\int_a^b f(x) dx = \frac{(b-a)}{2} \int_{-1}^{+1} \frac{1}{\sqrt{1-z^2}} F(z) dz, \text{ trong đó}$$

$$F(z) = \sqrt{1-z^2} f\left(\frac{a+b}{2} + \frac{b-a}{2} z\right) \quad (1.32)$$

và

$$\int_a^b f(x) dx \cong \frac{\pi}{2n} (b-a) \sum_{i=1}^n \sqrt{1-z_i^2} f(x_i) \quad (1.33)$$

$$x_i = \frac{a+b}{2} + \frac{b-a}{2} z_i$$

$$z_i = \cos\left(\frac{[2(i-1)+1]\pi}{2n}\right)$$

Các nút trong công thức Tchebyshev được trình bày tại bảng 1.3.

Bảng 1.3

n	W_i	X
3	2/3	$X_1 = -X_3 = 0,707107$ $X_2 = 0,0$
4	$\frac{1}{2}$	$X_1 = -X_4 = 0,794654$ $X_2 = -X_3 = 0,187592$
5	2/5	$X_1 = -X_5 = 0,832498$ $X_2 = -X_4 = 0,374541$ $X_3 = 0,0$

1.5 TÌM NGHIỆM PHƯƠNG TRÌNH BẰNG PHƯƠNG PHÁP CHIA ĐÔI ĐOẠN CÓ NGHIỆM

Phương pháp tìm nghiệm phương trình $y = f(x)$ giản đơn mà nhanh, được dùng tại đây mang tên gọi *bisection* (lưỡng đoạn).

Giả sử phương trình $f(x) = 0$, trong đó $f(x)$ liên tục trong đoạn $[a, b]$ và $f(a).f(b) < 0$. Để tìm nghiệm của phương trình vừa nêu, nằm trong $[a, b]$, cần thiết chia đoạn (a, b) ra làm hai phần bằng nhau. Nếu $f\left(\frac{a+b}{2}\right) = 0$, $x = (a + b)/2$ sẽ là nghiệm chính xác của phương trình. Ngược lại

$f\left(\frac{a+b}{2}\right) \neq 0$, chúng ta phải chọn miền có nghiệm $[a, (a+b)/2]$ hay là $[(a+b)/2, b]$ theo dấu hiệu,

giá trị $f(x)$, trong đó x lần lượt mang giá trị a, b , có dấu ngược với giá trị $f\left(\frac{a+b}{2}\right)$, vừa nêu. Trong

phân đoạn mới, ký hiệu $[a_1, b_1]$, bằng $\frac{1}{2}$ giá trị đoạn $[a, b]$ công việc được lặp lại như vừa trình bày. Trường hợp chưa xác định được nghiệm tiến hành tiếp các thủ tục cho phân đoạn vừa được chọn $[a_2, b_2], \dots, [a_n, b_n], \dots$, vv... thỏa mãn điều kiện:

$$f(a_n) f(b_n) < 0 \quad n = 1, 2, \dots \quad (a)$$

$$\text{và} \quad b_n - a_n = \frac{1}{2^n} (b - a) \quad (b)$$

Có thể thấy rằng, $a_1, a_1, \dots, a_n, \dots$ tạo thành chuỗi không giảm, còn giới hạn bên phải $b_1, b_2, \dots, b_n, \dots$ tạo thành chuỗi không tăng, phải tồn tại một giới hạn mà tại đó hai chuỗi này tiến đến:

$$\xi = \lim_{n \rightarrow \infty} a_n = \lim_{n \rightarrow \infty} b_n$$

Phép chia được thực hiện với điều kiện (a), nếu $n \rightarrow \infty$ điểm chọn $x = (a_n + b_n)/2$ sẽ đạt đến ξ , tại đó $f(\xi) = 0$.

Dưới đây trình bày một hàm viết bằng ngôn ngữ C giúp cho việc tìm nghiệm hàm $f(x)$ được định nghĩa tại (*func) (float). Số lần chia đôi đoạn chứa nghiệm MAX=40. Hàm nên được hiệu chỉnh tùy trường hợp sử dụng.

```
/* Bisection Method */
#include <math.h>
#define Max 40
```

```

float rtbis( func, x1, x2, xacc)
float x1, x2, xacc;
float (*func) ();
{
    int j;
    float dx, f, fmid, xmid, rtb;
    void nerror();
    f=(*func) (x2);
    if (f*fmid >= 0.0) nerror("Bisection Method");
    rtb = f < 0.0 ? (dx=x2-x1, x2);
    for (j=1; j <= Max; j++) {
        fmid=(*func) (xmid=rtb+(dx *= 0.5) );
        if (fmid <= 0.0) rtb=xmid;
        if (fabs(dx) <xacc || fmid == 0.0) return rtb;
    }
    nerror("Too many bisections ");
}

```

1.6 PHƯƠNG PHÁP TỔNG NHỎ NHẤT CÁC BÌNH PHƯƠNG

Đây là phương pháp kinh điển, ra đời từ thế kỷ thứ XIX áp dụng cho trường hợp hàm hóa, biểu diễn kết quả thực nghiệm, đo đạc thực tế.

Giả sử rằng từ dữ liệu thực tế có thể xác lập quan hệ giữa hai biến x và y như sau. Ứng với mỗi giá trị của $x_j, j=0, 1, 2, \dots, m$ có thể nhận biết giá trị thực của y là $y_j = f(x_j)$. Nếu giờ đây cần phải xác lập một hàm xấp xỉ biểu diễn quan hệ đó dưới dạng :

$$p(x) = c_0 f_0(x) + c_1 f_1(x) + c_2 f_2(x) + \dots + c_n f_n(x) \quad (a)$$

trong đó $n < m$.

Hàm $f_k(x), k=0, 1, 2, \dots, n$ liên tục chứa biến x , còn c_k là ẩn số phải xác định. Trường hợp riêng, song thường gặp, $f_k(x) = x^k$, hàm $p(x)$ cần xác định chính là đa thức bậc n . Theo cách tổ chức này, sai số xác định tại mỗi vị trí $x_j, j=0, 1, \dots, m$ giữa hàm $p(x)$ và $f(x_j)$ được tính như sau:

$$p(x) - f(x_j) = \delta_j \quad j=0, 1, 2, \dots, m \quad (b)$$

Phương pháp tính đòi hỏi tổng bình phương các sai số phải nhỏ nhất :

$$\sum_{j=0}^m \delta_j^2 = \sum_{j=0}^m [p(x) - f(x_j)]^2 \rightarrow \min \quad (c)$$

Điều kiện này cho phép viết :

$$\frac{\partial}{\partial c_k} \sum_{j=0}^m \delta_j^2 = \sum_{j=0}^m \delta_j \frac{\partial \delta_j}{\partial c_k} = 0; k=0, 1, 2, \dots, m \quad (d)$$

với $\frac{\partial \delta_j}{\partial c_k} = f(x_j)$

Dưới dạng đầy đủ công thức cuối trở thành:

$$\sum_{j=0}^m \left[\sum_{i=0}^n [c_i f_i(x_j) - y_j] \right] f_k(x_j) = 0; k=0, 1, 2, \dots, m \quad (e)$$

hoặc có thể viết dưới dạng, thuận lợi hơn khi lập trình:

$$\sum_{i=0}^n a_{ki} c_i = b_k; k = 0, 1, 2, \dots, m \quad (f)$$

$$a_{ki} = \sum_{j=0}^m f_i(x_j) f_k(x_j);$$

với

$$b_k = \sum_{j=0}^m y_j f_k(x_j)$$

Ví dụ: Xác lập hàm $y = c_1 e^x + c_2 e^{2x}$ qua ba điểm (0,1) (1, -2) (2, -40) trên cơ sở phương pháp tổng nhỏ nhất các bình phương sai số.

$$c_1 e^0 + c_2 e^0 - 1 = \delta_1$$

$$c_1 e^1 + c_2 e^2 - 1 = \delta_2$$

$$c_1 e^2 + c_2 e^4 - 1 = \delta_3$$

Theo cách làm nêu trên, có thể viết:

$$\delta_1 \frac{\partial \delta_1}{\partial c_1} + \delta_2 \frac{\partial \delta_2}{\partial c_1} + \delta_3 \frac{\partial \delta_3}{\partial c_1} = 0$$

$$\delta_1 \frac{\partial \delta_1}{\partial c_2} + \delta_2 \frac{\partial \delta_2}{\partial c_2} + \delta_3 \frac{\partial \delta_3}{\partial c_2} = 0$$

$$\text{Thay các giá trị } \frac{\partial \delta_1}{\partial c_1} = e^0; \frac{\partial \delta_2}{\partial c_1} = e^1; \frac{\partial \delta_3}{\partial c_1} = e^2; \quad \frac{\partial \delta_1}{\partial c_2} = e^0; \frac{\partial \delta_2}{\partial c_2} = e^2; \frac{\partial \delta_3}{\partial c_2} = e^4 \quad \text{vào hệ}$$

phương trình cuối có thể xác định : $c_1 \approx 2; c_2 \approx -1$.

Nếu sử dụng các ký hiệu vector và ma trận vào bài toán này, hệ phương trình nêu trên được viết lại gọn hơn.

Các hệ số c sắp xếp tại vector $\{c\}$ gồm $n+1$ thành phần, giá trị $y_j, j = 0, 1, 2, \dots, m$ xếp vào $\{y\}$, ma trận $[F]$ tập hợp $m+1$ dòng, ứng với các giá trị của $f_k(x_j)$.

$$\{c\} = \begin{Bmatrix} c_0 \\ c_1 \\ \bullet \\ c_n \end{Bmatrix}_{(N+1) \times 1}; \{y\} = \begin{Bmatrix} y_0 \\ y_1 \\ \bullet \\ y_m \end{Bmatrix}_{(M+1) \times 1};$$

$$\begin{bmatrix} f_0(x_0) & f_1(x_0) & \bullet & f_n(x_m) \\ f_0(x_1) & f_1(x_1) & \bullet & f_n(x_m) \\ \bullet & \bullet & \bullet & \bullet \\ \bullet & \bullet & \bullet & \bullet \\ f_0(x_m) & f_1(x_m) & \bullet & f_n(x_m) \end{bmatrix}_{(M+1) \times (N+1)}$$

Vector sai số xác định bằng biểu thức: $[F]\{c\} - \{y\} = \{\delta\}$,

Và công thức (d) trở thành:

$$2[[F]\{c\} - \{y\}]\frac{\partial}{\partial\{c\}}[F]\{c\} = 0$$

hoặc : $[[F]\{c\} - \{y\}][F] = 0$

Vì rằng $[F] \neq \{0\}$, biểu thức trong ngoặc vuông phải bằng 0. Bài toán theo phương pháp tổng nhỏ nhất các bình phương đưa về dạng:

$$[F]_{(m_1 \times n_1)} \cdot \{c\}_{(n_1 \times 1)} = \{y\}_{(m_1 \times 1)}, \text{ trong đó } m_1 = m + 1; n_1 = n + 1. \quad (g)$$

Ma trận $[F]$ gồm $m+1$ dòng, $n+1$ cột, với $n < m$. Vector $\{c\}$ chỉ có $n+1$ dòng, $\{y\}$ gồm $m+1$ dòng.

Xử lý phương trình (g) theo nhiều cách khác nhau. Dưới đây trình bày hai cách thông dụng, dễ dùng.

Cách thứ nhất đưa bài toán (g) về dạng bài toán kinh điển như trình bày tại (f). Nhân hai vế của phương trình (g) với ma trận chuyển vị của $[F]$ là $[F]^T$:

$$[F]^T[F]\{c\} = [F]^T\{y\}$$

Từ đó có thể viết:

$$[A] \cdot \{c\} = \{b\}, \quad (h)$$

$$\text{với } [A] = [F]^T[F] \text{ và } \{b\} = [F]^T\{y\}. \quad (i)$$

Các hệ số $\{c\}$ được xác định sau khi giải hệ phương trình đại số tuyến tính.

Ví dụ : áp dụng cách làm này xử lý bài toán vừa nêu.

$$\begin{bmatrix} e^0 & e^0 \\ e^1 & e^2 \\ e^2 & e^4 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} c_1 \\ c_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 1 \\ -2 \\ -40 \end{Bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} e^0 & e^1 & e^2 \\ e^0 & e^2 & e^4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e^0 & e^0 \\ e^1 & e^2 \\ e^2 & e^4 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} c_1 \\ c_2 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} e^0 & e^1 & e^2 \\ e^0 & e^2 & e^4 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ -2 \\ -40 \end{Bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 63 & 424 \\ 424 & 3036 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} c_1 \\ c_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -296 \\ -2198 \end{Bmatrix}$$

Từ hệ phương trình cuối có thể xác định : $c_1 \approx 2; c_2 \approx -1$.

Cách làm thứ hai là tiến hành giải hệ phương trình đại số gồm $m+1$ phương trình, chứa chỉ $n+1$ ẩn, trong đó $n < m$, bằng phương pháp xử lý ma trận suy biến. Phương pháp mang tên gọi bằng tiếng Anh: Singular Value Decomposition – SVD.

Một trong những thuật toán hay nhất xử lý hệ phương trình đại số tuyến tính $[A]_{(M \times N)} \{b\}_{(N \times 1)} = \{y\}_{(M \times 1)}$ được trình bày trong sổ tay toán tính của Wilkinson. Thủ tục tính được nhóm nhà toán học dưới sự chỉ dẫn của Wilkinson viết ra trong những năm sáu mươi bằng ngôn ngữ Algol đã dùng có hiệu quả trên những dàn máy tính. Thủ tục trên người viết tài liệu này đã “dịch” sang ngôn ngữ FORTRAN và sau đó “chuyển” sang ngôn ngữ C, được giới thiệu tiếp theo, giúp bạn đọc xử lý những bài toán thực tế. Trong chương trình, người viết đang hạn chế $n < 10$. Trường hợp

người dùng cần tăng số hệ số c_k đến số lớn hơn 9 (tính từ 0), cần thay thế JMAX bằng số hệ số cao nhất.

Hàm *LeastSquares* được dùng xác định các hệ số thủy động lực chân vịt tàu, xác định các hệ số đường cong sức cản vỏ tàu trong phần tự động hoá thiết kế chân vịt. Hàm này là phương tiện chính cho các phép hồi qui dùng trong phần xác định sức cản tàu.

```
#include <stdlib.h>
#include <stdio.h>
#include <graphics.h>
#include <math.h>
#define JMAX 10

void LeastSquares( int N, int M, double A[][JMAX], double *b,
                  double *y )

{
    register int N1, M1, MM1, L, i, LL, L1, j;
    double s, ss, s2, d, pp;
    MM1 = M -1; M1 = M+1;
    for ( L =0; L < M; L++) {
        ss =0.0;
        for ( i = L; i < N; i++) ss += A[i][L] * A[i][L];
        s2 = ss;
        s = sqrt(s2);
        if ( A[L][L] < 0.0 ) s = -s;
        d = s2 + s*A[L][L];
        A[L][L] += s;
        if ( L != MM1) {
            L1 = L + 1;
            for ( j =L1; j < M; j++) {
                pp = 0.0;
                for ( i =L; i < N; i++) pp += A[i][L] * A[i][j];
                A[N][j] = pp/ d;
            }
            for ( j = L1; j < M; j++)
                for ( i =L; i < N; i++)
                    A[i][j] -= A[i][L] * A[N][j];
        }
        A[N][L] = -s;
    }
    for ( i=0; i <N; i++) A[i][M] = y[i];
    for ( L =0; L < M; L++) {
        pp=0.0;
        for ( i=L; i < N; i++) pp += A[i][L] * A[i][M];
        d = pp / ( -A[L][L] * A[N][L] );
        for ( i= L; i < N; i++) A[i][M] -= d * A[i][L];
    }
    b[MM1] = A[MM1][M] / A[N][MM1];
    if ( N != 1) {
        for ( LL =0; LL < MM1; LL++) {
            L = M - LL -2;
            L1 = L+1;
            pp = A[L][M];
            for ( i=L1; i < M; i++) pp -= A[L][i] * b[i];
            b[L] = pp / A[N][L];
        }
    }
}
```

```

    s =0.0;
    for ( i=M; i < N; i++) {
        ss += A[i][M] * A[i][M];
        A[i][M] = 0.0;
    }
    for ( LL =0; LL < M; LL++) {
        L = M-LL-1;
        pp =0.0;
        for ( i = L; i < N; i++) pp += A[i][L] * A[i][M];
        d = pp / ( -A[L][L] * A[N][L] );
        for ( i=0; i <N; i++) A[i][M] -= d * A[i][L];
    }
    return;
}

main()
{
    int m, n, Npoints,i, j, jpl,Min, Max;
    double a[200][JMAX], b[JMAX];
    double xi,p, res, ss;
    int order, coeff[10] = { 0., 0., 0., 0., 0., 0., 0., 0., 0., 0.0 };
    double x[10] = { 0.23, 1.01, 2.29, 2.87, 4.15, 5.36, 5.51, 6.36, 6.84, 7.0 };
    double y[10] = { 5.64, 7.83, 17.04, 21.38, 24.56, 16.21, 14.57, 0.78,
        -7.64, -12.52 };
    printf("Enter n, npoints\n");
    scanf("%d %d", &n, &Npoints);
    for ( m =0; m < Npoints; m++) {
        a[m][0] = 1.0;
        xi = x[m];
        p =1.0;
        for ( j = 0; j < n; j++) {
            jpl =j + 1;
            p *= xi;
            a[m][jpl] = p;
        }
    }
    LeastSquares( Npoints, n+1, a, b, y );
    res =0.0;
    printf("\n      i          x[i]          y[i]          observation\n");
    for ( m=0; m< Npoints; m++) {
        p =1.0;
        xi = x[m];
        ss =0.0;
        for ( j =0; j < n + 1; j++) {
            ss += b[j] * p;
            p *= xi;
        }
        printf("      %d   %12.6lf   %15.8lf   %15.8lf\n", m,
            x[m], y[m], ss);
        ss -= y[m]; ss = ss * ss;
        res += ss;
    }
    printf("\n\nThe order is %d with res = %10.6lf\n\n", n, res);
    for ( i =0; i <= n; i++) printf("\tC[%d] = %15.8lf\n", i, b[i]);
}

```

1.7 QUI HOẠCH TUYẾN TÍNH

Trong quản lý sản xuất thường gặp những vấn đề không đơn giản cần được cân nhắc, tính toán thiết hơn trên cơ sở nguồn nhân lực và tài nguyên đang sở hữu, trước khi đưa ra những quyết định. Tài nguyên trong mỗi xí nghiệp có khác nhau, tuy nhiên những tài nguyên cấp thiết nhất mà các xí nghiệp sản xuất phải có gồm máy móc, thiết bị, lao động, tiền bạc, nguyên vật liệu và nhà xưởng, văn phòng. Qui hoạch tuyến tính trong tài liệu này là phương pháp tính, tận dụng nguồn nhân lực và tài nguyên, chọn cách làm hữu hiệu nhất cho công việc.

Qui hoạch tuyến tính đóng vai trò phương pháp tính toán để giúp cho người điều hành sản xuất tận dụng đến mức hợp lý nhất tài nguyên hiện hữu, đưa ra những quyết định hợp thời cho sản xuất nhằm đưa lại hiệu quả lớn nhất. Theo nghĩa này qui hoạch tuyến tính được hiểu là cách tìm maximum hoặc minimum của bài toán đang đặt ra cho sản xuất, trong không gian hạn chế và thời gian cũng hạn định.

Dạng chung của bài toán được phát biểu theo cách sau.

$$\text{Tìm maximum (hoặc minimum) } Z = c_1X_1 + c_2X_2 + \dots + c_nX_n \quad (1.34)$$

Với điều kiện:

$$\begin{aligned} A_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \dots + a_{1n}X_n &\leq b_1 \\ A_{21}X_1 + a_{22}X_2 + \dots + a_{2n}X_n &\leq b_1 \\ &\dots \\ a_{m1}X_1 + a_{m2}X_2 + \dots + a_{mn}X_n &\leq b_1 \end{aligned} \quad (1.35)$$

và hạn chế:

$$X_1 \geq 0; X_2 \geq 0; \dots X_n \geq 0. \quad (1.36)$$

Dưới dạng vector bài toán trên được thể hiện:

$$\text{Hàm mục tiêu: } \mathbf{c}^T \mathbf{X} \rightarrow \text{maximum} \quad (1.37)$$

$$\text{Hạn chế: } \mathbf{AX} = \mathbf{b}; \quad (1.38)$$

$$\mathbf{X} \geq \mathbf{0} \quad (1.39)$$

Ví dụ đơn giản sau đây minh hoạ cách phát biểu trên lấy từ xí nghiệp sản xuất đồ mộc. Xí nghiệp cần sản xuất lượng bàn và ghế nhằm thu lợi nhuận cao nhất. Thực tế sản xuất cho biết rằng mỗi bàn đòi 4 giờ công mộc, 2 giờ công đánh vecni, sơn. Công sản xuất ghế là 3 giờ mộc, 1 giờ đánh vecni và sơn phết. Xí nghiệp giành 240 công làm mộc và 100 công sơn phết cho công việc này. Tiền lời do bán bàn 7.000 Đ, lời từ bán ghế 5.000 Đ.

Theo cách viết trên đây, X_1 dùng chỉ số bàn sẽ sản xuất, X_2 – số ghế. Giá bán cả bàn và ghế tính bằng VNĐ, thời điểm 1998 là $7 \cdot 10^3 \cdot X_1 + 5 \cdot 10^3 X_2$. Bài toán qui hoạch theo mô hình vừa xây, tính bằng đơn vị 10^3 VNĐ:

$$7 \cdot X_1 + 5 \cdot X_2 \rightarrow \text{maximum}. \quad (a)$$

$$\left. \begin{array}{l} 4X_1 + 3X_2 \leq 240 \\ 2X_1 + 1X_2 \leq 100 \end{array} \right\} \quad (b)$$

$$\text{và: } X_1 \geq 0; X_2 \geq 0. \quad (c)$$

Cách giải kinh điển cho bài toán này có thể kể:

- phương pháp đồ thị,
- phương pháp iso-Profit (đẳng lợi nhuận)
- phương pháp chọn điểm tối ưu.

Trong tài liệu này chỉ trình bày phương pháp thích hợp cho việc tự động hóa, gọi là phương pháp “giản đơn” (*Simplex Method*). Thủ tục thực hiện trải qua các bước.

Bước đầu tiên xử lý các điều kiện hạn chế đã đặt ra trong bài toán, chuyển hoá các bất đẳng thức thành các đẳng thức, bằng cách gán thêm các biến lỏng lẻo (mượn cách gọi của người Mỹ: *slack variables*).

$$\left. \begin{array}{l} 4X_1 + 3X_2 + S_2 = 240 \\ 2X_1 + 1X_2 + S_1 = 100 \end{array} \right\} \quad (b')$$

Viết đầy đủ hơn, hệ phương trình trên sẽ là:

$$\left. \begin{array}{l} 4X_1 + 3X_2 + 0S_1 + S_2 = 240 \\ 2X_1 + 1X_2 + 1S_1 + 0S_2 = 100 \end{array} \right\} \quad (b'')$$

Hàm mục tiêu trở thành:

$$7X_1 + 5X_2 + 0S_1 + 0S_2 \rightarrow \text{maximum}. \quad (a')$$

Tiếp đó áp dụng phép thử và giải (b''), bắt đầu từ $X_1 = X_2 = 0$ và lợi nhuận bằng 0. Trong trường hợp này có thể thấy ngay $S_1 = 100$ và $S_2 = 240$. Lời giải ban đầu này có tên gọi, “lời giải khả thi cơ bản”, dưới dạng vector có thể diễn đạt:

$$\begin{Bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ S_1 \\ S_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 100 \\ 240 \end{Bmatrix}$$

Dưới dạng bảng tính, lợi nhuận được khảo sát theo mẫu sau:

Bảng 1.4

C_j		7	5	0	0	
		X_1	X_2	S_1	S_2	Số lượng
0	S_1	2	1	1	0	100
0	S_2	4	3	0	1	240
-	Z_j	0	0	0	0	0 (Lợi nhuận)
-	$C_j - Z_j$	7	5	0	0	-

Trong bảng 5.1 các ký hiệu mang ý nghĩa của bài toán đang đặt ra.

C_j – Lợi nhuận đơn vị, áp dụng cho cả dòng và cột.

Z_j – Lợi nhuận.

$C_j - Z_j$: Lợi nhuận thuần.

Tại bảng 5.1, với giá trị ban đầu như đã nêu, lợi nhuận đang ở mức 0, bài toán chưa đi đến đích. Các động tác tiếp theo phải theo hướng làm cho dòng chứa giá trị lợi nhuận thuần ($C_j - Z_j$) không âm.

Bảng tính chuẩn được lập qua các bước:

(1) Chọn biến số tiếp theo để đưa vào cột chuẩn, cột thứ hai tại bảng. Tiêu chuẩn chọn là biến đó có giá trị $C_j - Z_j$ lớn nhất.

(2) Chọn biến từ cột thứ hai đang ở vị trí ưu tiên phải nhường chỗ cho biến mới tuyển. Để làm điều này, cần tiến hành chia các giá trị trong cột số lượng cho số tương ứng ở cột hai.

(3) Tính các giá trị mới cho cột trung tâm vừa thiết lập.

(4) Tính các giá trị mới cho các cột còn lại theo công thức:

(Số mới) = (Số cũ) – [(số tại dòng cũ, trên hoặc dưới số bản lề) x (số tương ứng tại dòng mới, vừa thay trong bước 3)]. Số bản lề là số nằm tại điểm cắt nhau của dòng trung tâm với cột trung tâm.

(5) Tính dòng Z_j và $C_j - Z_j$. nếu tất cả giá trị tại dòng $C_j - Z_j$ bằng 0 hoặc số âm, bài toán tối ưu đã đến đích. Ngược lại, mọi công việc phải tiến hành lại từ bước đầu tiên.

Áp dụng cách làm vừa nêu vào bảng tính cho phân xưởng gỗ có thể thấy:

1. Vì rằng X_1 có giá trị lợi nhuận đơn vị cao nhất, đưa X_1 vào cột trung tâm.

2. Chia mỗi số tại cột số lượng với số tương đương tại cột của X_1 : $100/2 = 50$; $240/4 = 60$. Biến X_1 thay chỗ S_1 tại cột thứ hai.

3. Thay dòng trung tâm bằng cách chia mỗi số trong nó với số chuẩn, nằm tại giao điểm cột trung tâm và dòng trung tâm, cụ thể đây là 2, nơi gặp nhau dòng S_1 , cột X_1 : $2/2 = 1$; $1/2 = 0,5$; $1/2 = 0,5$; $0/2 = 0$; $100/2 = 50$. Dưới dạng bảng các số này sắp xếp như sau:

Bảng 1.5

C_j	Cột 2	X_1	X_2	S_1	S_2	Số lượng
7	X_1	1	0,5	0,5	0	50

4. Tính cho dòng S_2 mới.

$$\begin{array}{rclcl}
 0 & = & 4 & - & [4 \quad x \quad 1] \\
 1 & = & 3 & - & [4 \quad x \quad 0,5] \\
 -2 & = & 0 & - & [4 \quad x \quad 0,5] \\
 1 & = & 1 & - & [4 \quad x \quad 0] \\
 40 & = & 240 & - & [4 \quad x \quad 50]
 \end{array}$$

Bảng 1.6

C_j	Cột 2	X_1	X_2	S_1	S_2	Số lượng
7	X_1	1	0,5	0,5	0	50
0	S_2	0	1	-2	1	40

5. Tính Z_j và $C_j - Z_j$.

Bảng 1.7

C_j	Cột 2	X_1	X_2	S_1	S_2	Số lượng
7	X_1	1	0,5	0,5	0	50
0	S_2	0	1	-2	1	40
	Z_j	7	7/2	7/2	0	350
	$C_j - Z_j$	0	3/2	-7/2	0	-

Tại dòng cuối còn giá trị lớn hơn 0, do vậy lợi nhuận 350×10^3 chưa phải tối ưu. Cần thiết phải tiếp tục tính lại từ bước thứ nhất cho bảng tiếp theo.

1. Đưa X_2 vào cột thứ hai vì $3/2$ là số lớn nhất trong dòng cuối.
2. Dòng trung tâm là dòng S_2 vì rằng $40/1 = 40$ nhỏ hơn $50/(0,5) = 100$.
3. Thay thế dòng trung tâm.
4. Tính giá trị mới cho dòng X_1 .
5. Tính Z_j và $C_j - Z_j$.

Bảng 1.8

C_j	Cột 2	X_1	X_2	S_1	S_2	Số lượng
7	X_1	1	0	3/2	-1/2	30
5	X_2	0	1	-2	1	40
	Z_j	7	5	1/2	3/2	410
	$C_j - Z_j$	0	3/2	-1/2	-3/2	-

Bài toán qui hoạch trên đây, sau khi giải sẽ đưa ra đáp số $X_1 = 30$ và $X_2 = 40$. Lợi nhuận thu được từ sản xuất tính được bằng VNĐ: $7 \cdot 10^3 \cdot 30 + 5 \cdot 10^3 \cdot 40 = 410 \cdot 10^3$.

Tổng kết quá trình thực hiện trên đây trong khuôn khổ thuật toán của phương pháp simplex.

Trước khi tìm max hoặc min của hàm mục tiêu, ví dụ: $\mathbf{c}^T \mathbf{X} \rightarrow \text{maximum}$ cần thực hiện bước chuyển các hạn chế về dạng hệ phương trình tương đương, với sự tham gia của các biến bổ sung, hay còn gọi là biến lỏng lẻo. Các bất đẳng thức $\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i$ thay bằng các đẳng thức chứa

thêm s_i : $\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j + s_i = b_i$. Bằng cách này có thể xác định bậc của ma trận $\mathbf{A}$ tại $\mathbf{AX} = \mathbf{b}$ bằng m .

Như đã thấy rõ trong ví dụ, ma trận $\mathbf{A}$ có thể coi là tập hợp hai ma trận dạng $[\mathbf{B}, \mathbf{N}]$, trong đó $\mathbf{B} = [\mathbf{a}_{B1}, \dots, \mathbf{a}_{Bm}]$ -ma trận cơ bản và ma trận $\mathbf{N}$ kích cỡ $m \times (n - m)$. Nếu $\mathbf{X}$ là điểm cực trị, bản thân $\mathbf{X}$ có thể viết dưới dạng tương đương như đã thực hiện cho $\mathbf{A}$ vừa nêu: $\mathbf{X}^T = (\mathbf{X}_B^T, \mathbf{X}_N^T) = (\mathbf{b}^T, \mathbf{0})$, trong đó $\mathbf{b} = \mathbf{B}^{-1} \mathbf{b} \geq \mathbf{0}$. Các biến nằm trong các cột của ma trận $\mathbf{B}$ gọi là biến cơ bản, $\mathbf{x}_{B1}, \dots, \mathbf{x}_{Bm}$ như đã biết, các biến khác gọi là biến bổ sung.

Từ $\mathbf{AX} = \mathbf{b}$; $\mathbf{X} \geq \mathbf{0}$ có thể chọn giá trị bất kỳ của $\mathbf{x}$, triển khai vecto $\mathbf{x}$ dưới dạng như vừa nêu: $\mathbf{x}^T = (\mathbf{x}_B^T, \mathbf{x}_N^T)$. Từ $\mathbf{AX} = \mathbf{b}$ có thể viết $\mathbf{Bx}_B + \mathbf{Nx}_N = \mathbf{b}$. Vecto $\mathbf{x}_B$ có dạng:

$$\mathbf{x}_B = \mathbf{B}^{-1} \mathbf{b} - \mathbf{B}^{-1} \mathbf{N} \mathbf{x}_N$$

Hàm mục tiêu trở thành:

$$\begin{aligned} \mathbf{c}^T \mathbf{x} &= \mathbf{c}_B^T \mathbf{x}_B + \mathbf{c}_N^T \mathbf{x}_N = \mathbf{c}_B^T \mathbf{B}^{-1} \mathbf{b} + (\mathbf{c}_N^T - \mathbf{c}_B^T \mathbf{B}^{-1} \mathbf{N}) \mathbf{x}_N = \\ &= \mathbf{c}^T \mathbf{X} + (\mathbf{c}_N^T - \mathbf{c}_B^T \mathbf{B}^{-1} \mathbf{N}) \mathbf{x}_N. \end{aligned} \quad (1.40)$$

Nếu $(\mathbf{c}_N^T - \mathbf{c}_B^T \mathbf{B}^{-1} \mathbf{N}) \geq \mathbf{0}$, với $\mathbf{x}_N$ không âm sẽ thỏa mãn bất đẳng thức

$\mathbf{c}^T \mathbf{x} \geq \mathbf{c}^T \mathbf{X}$ và $\mathbf{X}$ là điểm cực trị.

Phương pháp Simplex áp dụng trong qui hoạch tuyến tính được chương trình hóa. Một trong những minh họa viết bằng ngôn ngữ C được giới thiệu dưới đây, thực hiện theo giải thuật trình bày tại sổ tay tự động hóa tính toán của Wilkinson³.

```
/* Linear Programming, Simplex method */
#define EPS 1.0e-08
#define FREEALL free_ivector(l3,1,m);free_ivector(l2,1,m);\
    free_ivector(l1,1,m);
void simplex(a, m, n, m1, m2, m3, icalse, izrov, iposv)
int m, n, m1, m2, m3, icalse, izrov[], iposv[];
float **a;
{
    int i, ip, ir, is, k, kh, kp, m12, n11, n12;
    int *l1, *l2, *l3, *ivector();
    float q1, bmax;
    void simpl(), simp2(), simp(), nerror(), free_ivector();

    if ( m != (m1+m2+m3) ) nerror("There is error");
    l1=ivector(1, n+1);
    l2=ivector(1,m);
    l3=ivector(1,m);
    n11=n;
    for(k=1; k<=n; k++) l1[k]=izrov[k]=k;
    n12=m;
    for (i=1; i<=m; i++) {
        if (a[i+1][1] < 0.0 ) nerror(" Bad here");
        l2[i]= i;
        iposv[i] = n+1;
    }
    for ( i =i; i<=m2; i++) l3[i] = 1;
    ir=0;
    if (m2+m3) {
        ir=1;
        for (k=1; k<=(n+1); k++) {
            qi=0.0;
            for (i=m1+1; i<=m; i++) q1 += a[i+1][k];
            a[m+2][k] = -q1;
        }
        do {
            sipm1(a, m+1, l1, n11, 0, &kp, &bmax);
            if (bmax <= EPS && a[m+2][1] < -EPS) {
                icalse = -1;
                FREEALL return;
            } else
                if (bmax <= EPS && a[m+2][1] <= EPS ) {
```

³ Wilhinson, J.H., Reinsch, C., "Linear Algebra, Vol II of Handbook for Automatic Computation", Springer-Verlag, 1971.

```

m12=m1+m2+1;
if(m12 <= m) {
    for (ip =m12; ip <=m; ip++) {
        if (iposv[ip] == )ip+n) ) {
            simp1(a, ip, l1, nl1, 1, &kp, &bmax);
            if (bmax > 0.0) goto one;
        }
    }
}
ir=0;
--m12;
if( m1+1 <= m12)
    for(i=m1+1; i <=m12; i++)
        if (l3[i-m1] == 1)
            for (k=1; k <=n+1; k++)
                a[i+1][k] = -a[i+1][k];
    breake;
}
simp2( a, n, l2, nl2, &ip, kp, &q1);
if ( ip == 0) {
*icase = -1;
FREEALL return;
}
one:    simp3(a, m+1, n, ip, kp);
        if(iposv[ip] >= (n+m1+m2+1) ) {
            for ( k=1; k<=nl1; k++)
                if (l1[k] == kp) breake;
            --nl1;
            for (is=k; is <=nl1; is++) l1[is] = l1[is+1];
            a[m+2][kp+1] += 1.0;
            for (i=1; i <= m+2; i++) a[i][kp+1] = -a[i][kp+1];
        } else
        {
            if (iposv[ip] >= (n+m1+1) ) {
                kh = iposv[ip] -m1 -n;
                if (l3[kh] ) {
                    l3[kh] = 0;
                    a[m+2][kp+1] += 1.0;
                    for( i=1; i <= m+2; i++)
                        a[i][kp+1] = -a[i][kp+1];
                }
            }
        }
        is=izrov[kp];
        izrov[kp] = iposv[ip];
        iposv[ip] = is;
        } while (ir);
    }
for (;;) {
    simp1(a, 0, l1, nl1, 0, &kp, &bmax);
    if (bmax <= 0.0) {
        *icase = 0;
        FREEALL return;
    }
    simp2(a, n, l2, nl2, &ip, kp, &q1);
    if (ip == 0) {
        *icase =1;
        FREEALL return;
    }
}

```

```

    }
    simp3( a, m, n, ip, kp);
    is = izrov[kp];
    izrov[kp] = iposv[ip];
    iposv[ip] = is;
  }
}

```

Những vấn đề thường gặp được giải quyết bằng các phương pháp qui hoạch tuyến tính trong thực tế sản xuất có thể là:

- Vận tải hàng hoá, vật tư từ điểm nguồn đến nơi tiêu thụ với chi phí vận chuyển thấp nhất.
- Phân công công việc cho người làm thích hợp, giảm chi phí sản xuất đến mức thấp nhất.
- Tổ chức sản xuất hợp lý, chọn tuyến đường ngắn nhất trong mạng để thực hiện các công việc trao đổi, phân công.

Bài toán vận tải đề cập m nguồn, năng lực sản xuất a_j đơn vị ($j = 1, 2, \dots, m$); và n đích, năng lực tiêu thụ b_k đơn vị nguồn ($k = 1, 2, \dots, n$). Giá thành vận chuyển đơn vị nguồn từ j đến k là c_{jk} , số lượng vận chuyển x_{jk} từ nguồn j đến đích k. Bài toán vận tải dạng này được đưa về phép lấy minimum của hàm sau:

$$Z = \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^n c_{jk} x_{jk} \rightarrow \text{minimum.}$$

trong đó:

$$\sum_{k=1}^n x_{jk} = a_j; j = 1, 2, \dots, m$$

$$\sum_{j=1}^m x_{jk} = b_k; k = 1, 2, \dots, n$$

và $x_{jk} \geq 0$ cho tất cả j và k.

Trong bài toán này cần thiết phải đặt ra điều kiện:

$$\sum_{j=1}^m a_j = \sum_{k=1}^n b_k$$

Bài toán phân công công việc giúp cho việc phân n công việc cho n người hoặc nhóm người thực hiện. Chi phí nhân công của việc thứ j do nhóm k thực hiện là c_{jk} . Bài toán tìm giá nhân công thấp nhất được đưa về dạng:

$$Z = \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^n c_{jk} x_{jk} \rightarrow \text{minimum.}$$

trong đó:

$$\sum_{k=1}^n x_{jk} = 1; j = 1, 2, \dots, m$$

$$\sum_{j=1}^m x_{jk} = 1; k = 1, 2, \dots, n$$

và $x_{jk} \geq 0$ hoặc 1, cho tất cả j và k.

1.8 QUI HOẠCH PHI TUYẾN

1.8.1 Hàm một biến

Hàm một biến, ví dụ $f(x)$, có minimum cục bộ tại điểm x_0 nếu tồn tại đại lượng vô cùng bé δ thỏa mãn điều kiện, nếu $|x - x_0| < \delta$ hàm $f(x) \geq f(x_0)$. Điều này đồng nghĩa với việc tồn tại miền của x_0 , trong miền đó mọi giá trị x thỏa mãn $f(x)$ lớn hơn $f(x_0)$. Hàm một biến trên có minimum theo nghĩa chung tại x^* nếu với mọi giá trị của x hàm $f(x)$ thỏa mãn bất đẳng thức $f(x) \geq f(x^*)$. Phương pháp kinh điển tìm minimum của hàm là xác định vị trí của x , tại đó đạo hàm bậc một bằng 0, có nghĩa:

$$f'(x) = 0. \quad (1.41)$$

Phương trình (5.5) là điều kiện cần để có minimum, song chưa phải là điều kiện đủ. Điều kiện sau này cần tìm tại đạo hàm bậc hai. Tại vị trí x_0 hoặc x^* , có thể thấy rằng $f'(x)$ chuyển dấu từ âm sang dương, hay nói cách khác hàm $f'(x)$ tăng dần. Trong trường hợp này có thể viết:

$$f'(x_0) > 0, \quad f'(x^*) > 0. \quad (*)$$

Khi đạo hàm bậc hai biểu diễn bằng hai công thức (*) đối dấu, các điểm vừa chọn sẽ là những điểm mà $f(x)$ mang giá trị maximum. Trường hợp đạo hàm bậc hai vừa nêu bằng 0, bài toán chưa xác định.

Để làm rõ hơn vấn đề, có thể xét hàm $f(x)$ khi phân thành chuỗi Taylor.

$$f(x_0 + h) - f(x_0) = hf'(x_0) + \frac{h^2}{2!} f''(x_0) + \dots \quad (1.42)$$

Nếu tại điểm x_0 (hoặc x^*) hàm đạt minimum, biểu thức bên trái của (1.42) sẽ âm với giá trị nhỏ bất kỳ của h ($|h| < \delta$). Hệ quả của điều này là đạo hàm bậc một $f'(x_0)$ phải bằng 0, và đây là điều kiện đủ, như đã viết tại (1.41). Nếu như biểu thức vừa đề cập dương, điều ấy có nghĩa giá trị âm rất nhỏ của h cũng làm cho vế phải (1.42) thành âm, ngược lại nếu biểu thức mang giá trị âm, chỉ giá trị đủ nhỏ của h cũng làm cho vế phải âm. Tại vế phải $h^2 > 0$ trong mọi trường hợp, và nếu $f'(x_0) > 0$, tại x_0 $f(x)$ sẽ đạt minimum.

Ví dụ: hàm $f(x) = x^3 - 2x^2 + x + 1$ đạt cực trị tại các vị trí sau. Tại $x = 1/3$ đạo hàm bậc hai $f''(x) = 6x - 4 = -2 < 0$, hàm đạt maximum. Ngược lại tại $x = 1$, $f''(x) = +2$, hàm $f(x)$ đạt minimum.

Trường hợp $f''(x) = 0$, chưa thể kết luận về tính chất cực trị, cần thiết khai triển hàm thành chuỗi Taylor đến bậc cao hơn hai như đã thực hiện tại (5.6). Ví dụ:

$$f(x_0 + h) - f(x_0) = hf'(x_0) + \frac{h^2}{2!} f''(x_0) + \frac{h^3}{3!} f'''(x_0) + \frac{h^4}{4!} f^{(4)}(x_0) + \dots \quad (1.42)$$

Qui luật tìm điểm cực trị của hàm $f(x)$ được nêu gọn như sau. Với n – chẵn, hàm đạt maximum nếu $f^{(n)}(x_0) < 0$; ngược lại khi $f^{(n)}(x_0) > 0$ hàm $f(x)$ đạt minimum.

1.8.2 Hàm nhiều biến

Trường hợp biến của hàm không chỉ 1 như phần vừa trình bày mà gồm n biến, ký hiệu $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$, hay dưới dạng vectơ sau đây:

$$\mathbf{X} = \{x\} = [x_1, x_2, x_3, \dots, x_n]^T$$

hàm nhiều biến có dạng:

$$f(\mathbf{x}) = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \quad (1.43)$$

Đạo hàm bậc một của hàm nhiều biến có tên gọi **gradient** của hàm, là vecto gồm các thành phần đạo hàm riêng $\partial f/\partial x_1, \partial f/\partial x_2, \dots, \partial f/\partial x_n$, ký hiệu bằng $\nabla f(\mathbf{x})$. Khái niệm đạo hàm bậc hai như đã gặp trong trường hợp hàm một biến khi áp dụng cho hàm nhiều biến được hiểu là **ma trận** cỡ $(n \times n)$ chứa các thành phần:

$$H_{ij} = \frac{\partial^2 f}{\partial x_i \partial x_j} \quad (1.44)$$

được ký hiệu $\mathbf{H}(\mathbf{x})$, có tên gọi ma trận Hess.

Khai triển thành chuỗi Taylor của hàm nhiều biến đưa đến dạng:

$$\begin{aligned} f(x_0 + h) - f(x_0) &= \sum_{i=1}^n h_i \frac{\partial f}{\partial x_i}(x_1, \dots, x_n) + \frac{1}{2!} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n h_i h_j \frac{\partial^2 f}{\partial x_i \partial x_j}(x_1, \dots, x_n) + \dots \\ &= \mathbf{h}^T \nabla f(\mathbf{x}_0) + \frac{1}{2} \mathbf{h}^T \mathbf{H}(\mathbf{x}_0) \mathbf{h} + \dots \end{aligned} \quad (1.45)$$

Điều kiện cần để hàm nhiều biến có minimum tại $\mathbf{x}_0$ là:

$\nabla f(\mathbf{x}_0) = 0$, có nghĩa là

$$\frac{\partial f(\bar{x}_0)}{\partial x_i} = 0; (i = 1, \dots, n) \quad (1.46)$$

trong trường hợp này hiệu giữa $f(\mathbf{x}_0 + \mathbf{h}) - f(\mathbf{x}_0)$ xác định theo $\frac{1}{2} \mathbf{h}^T \mathbf{H}(\mathbf{x}_0) \mathbf{h}$. Nếu $\mathbf{H}(\mathbf{x}_0)$ dương, biểu thức này sẽ dương đối với tất cả $\mathbf{h}$. Do vậy có thể viết *điều kiện cần và đủ* để hàm nhiều biến kể trên đạt minimum là:

$\nabla f(\mathbf{x}_0) = 0$, $\mathbf{H}(\mathbf{x}_0)$ dương.

Điều kiện đạt maximum:

$\nabla f(\mathbf{x}_0) = 0$, $\mathbf{H}(\mathbf{x}_0)$ âm.

Ví dụ: Xác định cực trị hàm ba biến sau $f(\mathbf{x}) = x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 - 4x_1 - 8x_2 - 12x_3 + 100$.

Gradient được tìm sau đây:

$$\nabla f(\mathbf{x}) = \begin{Bmatrix} 2x_1 - 4 \\ 2x_2 - 8 \\ 2x_3 - 12 \end{Bmatrix} = \{0\} \text{ tại } x_1 = 2; x_2 = 4; x_3 = 6.$$

Ma trận Hess:

$$\mathbf{H}(\mathbf{x}) = \begin{bmatrix} 2 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 2 \end{bmatrix} \text{ là ma trận dương, các giá trị trên đường chéo chính bằng 2.}$$

Do vậy tại điểm (2, 4, 6) hàm $f(\mathbf{x})$ đạt minimum.

1.8.3 Xác định minmum hoặc maximum hàm một biến

Phương pháp tìm đoạn vàng trong bài toán một chiều

Phương pháp có tên gọi rất hay “*Golden Section Search*”, trong thực tế là phương pháp chia đoạn có nghiệm (max hoặc min) làm hai phần để tiến dần đến đích, không khác cách làm như đã trình bày về phương pháp bisection, chương hai.

Chiều dài đoạn chứa điểm cực trị của hàm được tìm trong:

$$L_{j-1} = L_j + L_{j+1} \quad (a)$$

Nếu tỷ lệ giữa các phân đoạn cuối là hằng số, thỏa mãn điều kiện:

$$\frac{L_{j-1}}{L_j} = \frac{L_j}{L_{j+1}} = \frac{L_{j+1}}{L_{j+2}} = \dots = \tau \quad (b)$$

chúng ta có thể viết:

$$\frac{L_{j-1}}{L_j} = 1 + \frac{L_{j+1}}{L_j}, \text{ có nghĩa } \tau = 1 + 1/\tau \quad (c)$$

Từ đó: $\tau^3 - \tau - 1 = 0$ và nghiệm của phương trình bậc ba này sẽ là:

$$\tau = (1 + \sqrt{5})/2 \approx 1,61803399.$$

Kết quả cho thấy rằng:

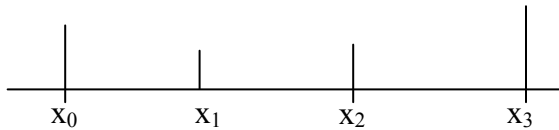
$$\frac{L_{j-1}}{L_{j+1}} = \tau^2, \frac{L_{j-2}}{L_{j+1}} = \tau^3 \text{ vv...} \quad (d)$$

Có thể viết như sau $\frac{L_1}{L_n} = \tau^{n-1}$, hay là:

$$L_n = \frac{L_1}{\tau^{n-1}} \quad (e)$$

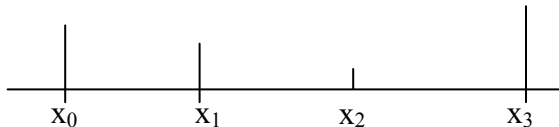
Nếu xác định đúng đoạn có chứa cực trị, ví dụ trong (x_0, x_3) , trong đó xác định được hai giá trị của hàm $f(x)$ tại x_1 và x_2 , với $x_1 < x_2$, nằm trong khoảng x_0, x_3 là f_1 và f_2 , phép tìm kiếm thực hiện theo các bước sau.

(a) Nếu $f_1 < f_2$: Phân đoạn được chọn để tiếp tục tìm là (x_0, x_2)



Hình 1.1

(b) Nếu $f_1 > f_2$: Phân đoạn được chọn để tiếp tục tìm là (x_1, x_3)



Hình 1.2

Chương trình sau minh họa cách tìm điểm cực trị hàm $f(x) = -e^{-x}\ln(x)$ theo phương pháp phân đoạn vàng vừa nêu.

```

#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <math.h>

/* phuong trinh chinh*/
float funceval( float x )
{
    return -exp(-x)* log(x);
}

void main()
{
    float err, i, inita, initb ;
    float x0, x1, x2, x3, t1, t2, f1, f2;
    printf("\n Chuong trinh tinh toi uu- pp. Golden Section ");
    err = 0.000001;
    printf("\n Gan 2 gia tri cua han che a, b:=");
    scanf("%f %f", &inita, &initb);
    t1= 0.381966;
    t2= 1.0 - t1;
    x0 = inita;
    x1= inita + t1*(initb-inita);
    x2=inita+t2*(initb-inita);
    x3=initb;
    f1= funceval(x1);
    f2=funceval(x2);
    printf("\n x1=%8.3f f(x1)= %12.7f x2=%8.3f f(x2)=%12.7f",x1, f1, x2, f2);
    L1:
    printf("\n %8.4f %8.4f %8.4f %8.4f %12.7f %12.7f",x0, x3, x1, x2, f1, f2);

    if (f2 > f1) {
        i=x2-x0;
        x3=x2;
        x2=x1;
        x1=x0+t1*i;
        f2=f1;
        f1= funceval(x1);
        if ( i > err) goto L1;
    }
    else
    {
        i=x3-x1;
        x0=x1;
        x1=x2;
        x2=x0+t2*i;
        f1=f2;
        f2=funceval(x2);
        if ( i > err) goto L1;
    }
    printf("\n x = %12.7f f(x)= %15.8f", x1, f1);
}

```

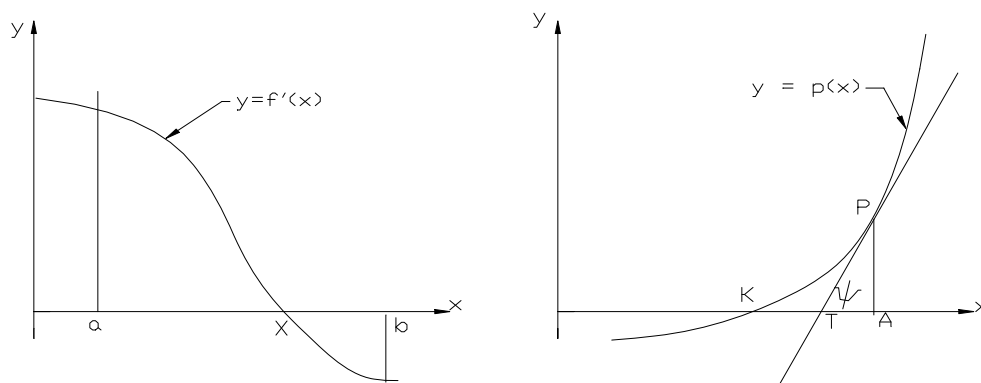
Nghiem bai toan duoc tim $x = 1,762852744$; $f(x) = -9,72601324E-02$;
 Nghiem chinh xac cua bai toan la $x = 1.76322211$.

Phương pháp Newton

Phương pháp kinh điển tìm vị trí cực trị hàm một biến là xác định đạo hàm bậc nhất và gán cho đạo hàm bằng 0. Giải phương trình vừa xác lập sẽ tìm đúng giá trị của x để $f'(x) = 0$.

Trường hợp chung, giải phương trình dạng này không phải giản đơn. Một trong những cách tìm nghiệm gần đúng của phương trình mới xác lập là phương pháp Newton.

$$\frac{PA}{TA} = \tan g\psi = \varphi'(x_0) \quad (a)$$



Hình 1.3

từ đó:

$$TA = \frac{PA}{\varphi'(x_0)} = \frac{\varphi(x_0)}{\varphi'(x_0)} \quad (b)$$

$$x_1 = x_0 - \frac{\varphi(x_0)}{\varphi'(x_0)} \quad (c)$$

$$x_2 = x_1 - \frac{\varphi(x_1)}{\varphi'(x_1)} \quad (d)$$

$$\text{và trường hợp tổng quát: } x_{r+1} = x_r - \frac{\varphi(x_r)}{\varphi'(x_r)} \quad (e)$$

Chương trình tìm giá trị cực tiểu của hàm số $f(x) = \frac{1}{2}x^2 - \sin x$ theo phương pháp Newton được trình bày tiếp theo. Trong chương trình sử dụng các hàm sau:

$$\varphi(x) = f'(x) = x - \cos x$$

$$\text{và } \varphi'(x) = 1 + \sin x \text{ khi tính.}$$

```

/* 8/98          for nonlinear programming          */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <math.h>

/* phuong trinh chinh*/
double funceval( double x )
{
    return 0.5*(x * x) - sin(x);
}

/* dao ham bac 1 */
double funcd1( double x )
{
    return x - cos(x);
}

/* dao ham bac 2 */
double funcd2( double x )
{
    return 1 + sin(x);
}

void main()
{
    /* phuong phap Newton, xu ly phi(x) = y'(x) */
    double err, init, x, f, d, ff;
    printf("\n Chuong trinh tinh toi uu");
    err = 0.000001;
    printf("\n Gan gia tri ban dau:=");
    scanf("%f", &init);
    do {
        x = init;
        f = funcd1(x);
        d = funcd2(x);
        init = x - f/d;
        printf("%20.8f%20.8f\n", x, init);
    }
    while (abs(init - x) > err);
    x = init;
    f = funcd1(x);
    d = funcd2(x);
    ff = funceval(x);
    if (d > 0)      printf("\n Mimimum   tai x = %15.3f", x) ;
    if (d < 0)      printf("\n Maximum   tai x = %15.3f", x);
    printf("          f(x)= %20.8f", ff);
}

```

1.8.4 Phương pháp sử dụng gradient

Giả sử vector $\mathbf{x}$ của (*) có thể chuyển vị từ $\mathbf{x}$ đến $\mathbf{x} + \mathbf{h} \cdot \mathbf{d}$, trong đó $\mathbf{d}$ - hướng chuyển dịch, $\mathbf{h}$ - bước chuyển. Thay đổi hàm $f(\mathbf{x})$ sau chuyển vị của $\mathbf{x}$ được tính như sau:

$$\begin{aligned} df &= f(x_1 + \delta x_1, x_2 + \delta x_2, \dots, x_n + \delta x_n) - f(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ &= \frac{\partial f}{\partial x_1} \delta x_1 + \frac{\partial f}{\partial x_2} \delta x_2 + \dots + \frac{\partial f}{\partial x_n} \delta x_n \end{aligned} \quad (1.47)$$

Trong trường hợp đơn giản nhất phương trình trên được viết thành:

$$df = |\nabla f(x)| dx \cos \theta \quad (5.13)$$

trong đó θ - góc giữa vector $\nabla f(\mathbf{x})$ và $d\mathbf{x}$. Trường hợp $\theta = 180^\circ$ hướng của $d\mathbf{x}$ trùng với $-\nabla f(\mathbf{x})$. Với bước nhỏ dọc đường đẳng mức, $f(x_1 + dx_1, x_2 + dx_2, \dots, x_n + dx_n) = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ biểu thức df có dạng:

$$df = \sum_{j=1}^n \frac{\partial f}{\partial x_j} d_j = |\nabla f(x)|^T d = 0 \quad (1.48)$$

Quá trình tìm kiếm cực trị tiến hành như sau:

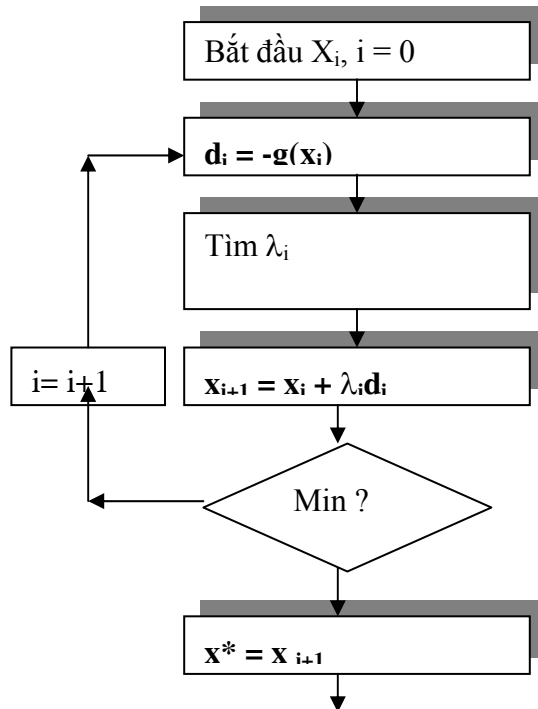
$$\mathbf{x}_{i+1} = \mathbf{x}_i - \lambda_i \nabla f(\mathbf{x}_i), \quad (1.49)$$

trong đó λ_i - giá trị của λ - hằng số Lagrange, xác định từ quan hệ:

$$\varphi(\lambda) = f(\mathbf{x}_i - \lambda \nabla f(\mathbf{x}_i)), \quad (1.50)$$

Giá trị của λ_i xác định theo một trong các cách tìm nghiệm hàm một biến đã trình bày.

Giải thuật của Powell và Fletcher



Hình 1.4

Giải thuật này nhằm tìm hướng đi đến tiến đến mục tiêu nhanh nhất, trong đó sử dụng hàm nguyên thủy và cả gradient của nó lúc khảo sát. Sơ đồ khối cho giải thuật này như tại hình 1.4.

Giải thuật Davidon-Fletcher-Powell

Trong khuôn khổ phương pháp DFP, các hàm liên tục được viết dưới dạng gần đúng của hàm bậc hai: $F(\mathbf{x}) = a + \mathbf{x}^T \mathbf{b} + \frac{1}{2} \mathbf{x}^T \mathbf{H} \mathbf{x}$,

với a – hằng số, $\mathbf{b}$ – hằng vectơ. Hàm đạt cực trị tại $\mathbf{x}^*$, khi đó:

$$\nabla F(\mathbf{x}^*) = \mathbf{b} + \mathbf{H}\mathbf{x}^* = \mathbf{0} \quad (\text{a})$$

$$\text{Từ đó } \mathbf{x}^* = -\mathbf{H}^{-1} \mathbf{b}. \quad (\text{b})$$

Dưới dạng chuỗi Taylor, hàm kiểu này được viết thành:

$$F(\mathbf{x}) = f(\mathbf{x}_0) + (\mathbf{x} - \mathbf{x}_0)^T \nabla f(\mathbf{x}_0) + \frac{1}{2} (\mathbf{x} - \mathbf{x}_0)^T \mathbf{H}(\mathbf{x}_0) (\mathbf{x} - \mathbf{x}_0) \quad (\text{c})$$

Công thức (a) giờ đây có thể viết thành:

$$\nabla F(\mathbf{x}_0) = \mathbf{G}(\mathbf{x}_0)(\mathbf{x}_m - \mathbf{x}_0) = \mathbf{0} \quad (\text{d})$$

$$\text{Từ đó: } \mathbf{x}_m = \mathbf{x}_0 - \mathbf{G}^{-1}(\mathbf{x}_0) \nabla F(\mathbf{x}_0), \quad (\text{e})$$

hoặc dưới dạng: $\mathbf{x}_m = \mathbf{x}_0 - \mathbf{H}^{-1}(\mathbf{x}_0) \mathbf{g}(\mathbf{x}_0)$, với $\mathbf{g}()$ thay vào vị trí $\nabla F()$.

Nghiệm bài toán tìm dưới dạng:

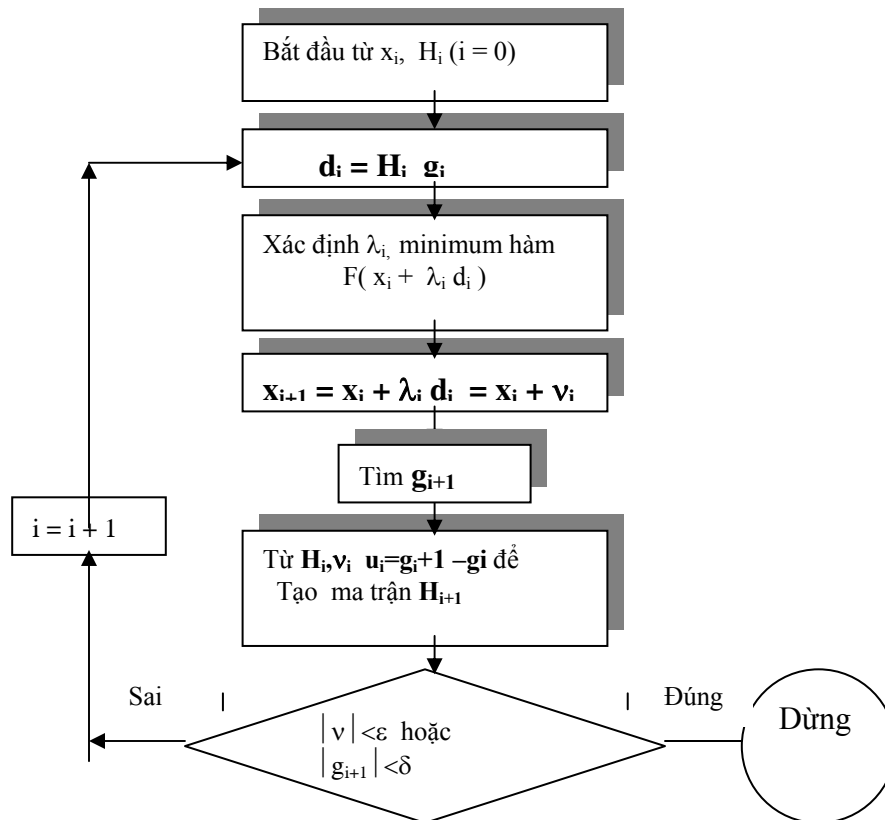
$$\mathbf{x}_{i+1} = \mathbf{x}_i - \mathbf{H}^{-1}(\mathbf{x}_i) \mathbf{g}(\mathbf{x}_i) \quad (*)$$

$$\text{hoặc } \mathbf{x}_{i+1} = \mathbf{x}_i - \lambda_i \mathbf{G}^{-1}(\mathbf{x}_i) \mathbf{g}(\mathbf{x}_i) \quad (**)$$

Các bước thực hiện như sau:

- (1) Tại bước thứ j chọn $\mathbf{x}_j$ và hướng dương của ma trận đối xứng $\mathbf{H}_j$.
- (2) Chọn $\mathbf{d}_j = -\mathbf{H}_j \mathbf{g}_j$ làm hướng tìm kiếm cực trị.
- (3) Thực hiện tìm cực trị theo hướng $\mathbf{x}_j + \lambda_j \mathbf{d}_j$ và xác định minimum hàm $f(\mathbf{x}_j + \lambda_j \mathbf{d}_j)$ để có hàm λ_j .
- (4) Đặt: $\mathbf{v}_j = \lambda_j \mathbf{d}_j$
- (5) Đặt $\mathbf{x}_{j+1} = \mathbf{x}_j + \mathbf{v}_j$
- (6) Tìm $f(\mathbf{x}_{j+1})$ và $\mathbf{g}_{j+1}$. Nếu các đại lượng $|\mathbf{g}_{j+1}|$ hoặc $|\mathbf{v}_j|$ đủ bé, sẽ dừng công việc. Ngược lại, tiếp tục thực hiện theo thủ tục trên. Tại đây có thể lưu ý đến quan hệ $\mathbf{g}_{j+1}^T \mathbf{v}_j = 0$.
- (7) Đặt $\mathbf{u}_j = \mathbf{g}_{j+1} - \mathbf{g}_j$
- (8) Tính ma trận $\mathbf{H}$ tại bước thứ $j+1$ theo công thức:
 $\mathbf{H}_{j+1} = \mathbf{H}_j + \mathbf{A}_j + \mathbf{B}_j$, trong đó:
 $\mathbf{A}_j = \mathbf{v}_j \mathbf{v}_j^T / (\mathbf{v}_j^T \mathbf{u}_j);$
 $\mathbf{B}_j = -\mathbf{H}_j \mathbf{u}_j \mathbf{u}_j^T \mathbf{H}_j / (\mathbf{u}_j^T \mathbf{H}_j \mathbf{u}_j)$
- (9) Tăng j thêm 1 và quay lại bước 2.

Thể hiện phương pháp DFP bằng chương trình bạn đọc có thể tham khảo listing dưới đây.



Hình 1.5

```

/* Nonlinear Optimisation
Nonlinearly Constrained Optimisation Calculations
from the works of Davidon, Fletcher, Powell */

```

```

#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <math.h>
#include <ctype.h>
#define MAXN 10

double x[MAXN], g[MAXN];
double funceval( double x[] )
{
    return 0;
}

double gval( double x[], double g[] )
{
    return 0;
}

```

```

double DFPOptimization( void )

/* Coded in Hochiminh City 1992
Prepared by Dr. Tran Cong Nghi */
{
register int i,j;
int cc,n;

double H[MAXN][MAXN], p[MAXN], tt[MAXN], d[MAXN], v[MAXN], mm[MAXN];
double y[MAXN], g1, gr, gp, gq, fp, fq, qx, cg, fr, wk, dk,
      auk, auxz, waux, dd, varh;
double w, bb, g2, g3, q[MAXN];
cc=0;
printf("\nEnter number of variables N= ");
scanf("%d", &n);
for( i=0; i<n; i++) {
  for( j=0; j<n; j++)
    H[i][j] =0.0;
    H[i][i]=1.0;
  }
for(i=0; i<n; i++) {
  scanf("%f",&x[i]);
  p[i]=x[i];
  y[i]= x[i];
  }
fp= funceval(x);
g1= gval(x, g);
for (i=0; i<n;i++) {
  tt[i] = g[i];
  d[i]= 0.0;
  for ( j=0; j<n; j++) d[i] -= H[i][j]*g[j];
  }

L6:
gp=0;
for( i=0; i<n; i++) gp += g[i]*d[i];
if ( gp < 0.0) goto L68;
qx = fabs(2*fp/gp);
if( qx >1.0) qx= 1.0;
for( i=0; i<n; i++) {
  x[i] = p[i] -qx*d[i];
  p[i] = x[i];
  }
fp= funceval(x);
g1= geval(x,g);
goto L6;

L68:
qx= fabs( 2*fp/gp);
if(qx > 1.0) qx =1.0;
varh=qx;
bb=varh;

L7:
for(i=0; i<n; i++) x[i]= q[i]= p[i] + bb* d[i];
fq = funceval(x);
g2= geval(x,g);
cg=0;
for( i=0;i<n; i++) cg += g[i]* d[i];

```

```

if (gq > 0 || fq > fp ) goto L83;
varh = 2* varh;
goto L7;

```

L83:

```

auxz = 3*(fp-fq)/varh;
auxz += (gp+gq);
waux= auxz * auxz - gp*gq;
if( waux < 0.0) waux =0.0;
w = sqrt( waux);
dd = varh* (1.0- ( gq + w -auxz ) /( gq-gp + 2*w));
for( i=0; i<n; i++) x[i] = p[i] + dd * d[i];
fr = funceval(x);
g3= geval( x, g);
gr= 0.0;
for(i=0; i<n; i++) gr += g[i] * d[i];
if ( fr <= fp && fr <= fq ) goto L11;
if( gr > 00 ) goto L99;
varh -= dd;
for ( i=0; i < n; i++) p[i] = x[i];
fp= funceval(x);
gp= gr;
g1= geval(x,g);
goto L83;

```

L99:

```

varh = dd;
for(i=0; i<n; i++) q[i] = x[i];

```

L11:

```

auk = dk = wk =0.0;
for( i=0; i<n; i++) {
    tt[i] = g[i] -tt[i];
    v[i] = x[i]- y[i];
}
for( i=0;i<n; i++) {
    mm[i] =0.0;
    for ( j=0; j< n; j++) mm[i] += H[i][j] * tt[j];
    auk += mm[i] * tt[i];
    wk += v[i] * tt[i];
    dk += v[i] * v[i];
}
if ( auk == 0.0 || wk == 0.0 ) goto L12;
for( i=0; i <n; i++)
for(j=0; j <n; j++);
H[i][j] += ( -mm[i] * mm[j]/ auk + v[i]*v[j]/ wk);

```

L12:

```

cc++;
if( sqrt( dk) < 0.5e-5 || g3 < 0.1e-5) goto L3;
goto L4;

```

L3:

```

printf("Iteration number %d\t and f = %20.8f\t",cc,funceval(x) );
for( i=0; i<n; i++) printf("%d%20.8f",i,x[i]);
return funceval(x);
}

```

1.8.5. Phương pháp tìm trực tiếp (không qua giai đoạn tính gradient)

Ý tưởng phương pháp hết sức đơn giản, cố gắng bằng mọi cách thử nghiệm tìm điểm $\mathbf{x}_k$, tại đó thỏa mãn điều kiện $\|\mathbf{x}_{k+1} - \mathbf{x}_k\| < \varepsilon$. Bước tiến hành đầu tiên của phương pháp là chọn vector $\mathbf{d}_1, \mathbf{d}_2, \dots, \mathbf{d}_n$, cùng điểm xuất phát $\mathbf{x}_1$, và hãy đặt $\mathbf{y}_1 = \mathbf{x}_1$, $k = j = 1$, sau đó bắt tay vào tính lặp.

Gia đoạn tính lặp:

(1) Giả sử λ_j là hằng số Lagrange thỏa mãn lời giải tối ưu $f(\mathbf{y}_j + \lambda \mathbf{d}_j)$. Tìm tiếp giá trị $\mathbf{y}_{j+1} = \mathbf{y}_j + \lambda_j \mathbf{d}_j$. Nếu $j < n$ hãy thay j thành $j + 1$ và quay lại bước đầu. Nếu $j = n$ hãy tiến đến bước (2).

(2) Đặt $\mathbf{x}_{k+1} = \mathbf{y}_{n+1}$. Nếu $\|\mathbf{x}_{k+1} - \mathbf{x}_k\| < \varepsilon$ dừng các phép tính. Trường hợp ngược lại, hãy đặt $\mathbf{y}_1 = \mathbf{x}_{k+1}$, $j=1$, thay k thành $k+1$ và quay về bước (1).

Những phương pháp chính trong phần này gồm:

- Phương pháp Hooke-Jeeves,
- Phương pháp Nelder-Mead, hay còn gọi phương pháp *Simplex* công bố trong “A Simplex Method for Function Minimisation”, Comp. Jour., 1965.
- Phương pháp của Rosenbrock,
- Phương pháp của Box hay còn gọi phương pháp *Complex*.

Trong các thủ tục tính nêu trên, khi xử lý những bài toán trong miền hạn chế chúng ta thường gặp khái niệm hằng số Lagrange và khái niệm lỗi, lỗi hàm đa biến. Trong tài liệu này sẽ không trình bày cách xác định λ_j cũng như điều kiện Kuhn-Tucker. Về hàm Lagrange và điều kiện của Kuhn-Tucker liên quan miền lỗi hàm đa biến được tìm thấy trong các tài liệu chuyên ngành sau:

“A new derivation of the Kuhn-Tucker conditions”, Operations Research, 12, 1964.

H.W. Kuhn and A.W. Tucker, “Non linear Programming”, hội thảo khoa học tại trường đại học Berkeley, 1951.

Phương pháp Hooke-Jeeves,

Phương pháp này được giới thiệu lần đầu năm 1961, còn giá trị đến ngày nay. Quá trình tìm gồm nhiều bước, quanh quẩn điểm cơ bản. Thủ tục tiến hành như sau:

(a) Chọn điểm cơ bản $\mathbf{b}_1$ và bước $\mathbf{h}_j$ cho mỗi biến x_j , $j = 1, 2, 3, \dots, n$.

(b) Tính $f(\mathbf{x})$ tại điểm cơ bản $\mathbf{b}_1$ và xác định hướng tìm kiếm.

1. Tính $f(\mathbf{b}_1)$,

2. Tính $f(\mathbf{b}_1 + \mathbf{h}_1 \mathbf{e}_1)$. Nếu động tác này làm cho hàm $f()$ nhỏ hơn, thay $\mathbf{b}_1$ bằng $\mathbf{b}_1 + \mathbf{h}_1 \mathbf{e}_1$. Ngược lại, thực hiện phép tính theo $f(\mathbf{b}_1 - \mathbf{h}_1 \mathbf{e}_1)$, và nếu giá trị của $f()$ nhỏ hơn sẽ thay $\mathbf{b}_1$ thành $\mathbf{b}_1 - \mathbf{h}_1 \mathbf{e}_1$. nếu các động tác trên không mang lại hiệu quả làm nhỏ hơn hàm $f()$, điểm chuẩn $\mathbf{b}_1$ sẽ được giữ nguyên giá trị ban đầu và chuyển hướng sang tìm trên trục x_2 . Thay vì bước tính $f(\mathbf{b}_1 + \mathbf{h}_1 \mathbf{e}_1)$ như đã làm ở trên, lần này tính $f(\mathbf{b}_1 + \mathbf{h}_2 \mathbf{e}_2)$. Cần thiết khảo sát cho tất cả n biến, nếu công việc đòi hỏi, sau đó sẽ chuyển qua điểm cơ bản mới $\mathbf{b}_2$.

3. Nếu $\mathbf{b}_2 = \mathbf{b}_1$, có nghĩa là không làm cho $f()$ giảm, phải làm lại từ đầu, cũng quanh quẩn điểm cơ bản ban đầu $\mathbf{b}_1$ song bước phải nhỏ hơn. Kinh nghiệm tính cho thấy, nên giảm bước chừng 10 lần.

4. Trường hợp $\mathbf{b}_2 \neq \mathbf{b}_1$, tiến hành các bước nêu dưới đây quanh điểm cơ bản sau.

(c) Sử dụng đầy đủ thông tin thu nhận từ phần trên để tiến hành công việc theo hướng tốt nhất. Thủ tục làm như sau:

1. Theo hướng $\mathbf{b}_2 - \mathbf{b}_1$ để tiếp tục công việc. Tính giá trị hàm $f()$ tại điểm $P_1 = \mathbf{b}_1 + 2(\mathbf{b}_2 - \mathbf{b}_1)$. Trường hợp tổng quát tính theo:
Trường hợp tổng quát tính theo: $P_i = \mathbf{b}_i + 2(\mathbf{b}_{i+1} - \mathbf{b}_i)$.
 2. Khảo sát hàm chung quanh điểm P_1 (P_i).
 3. Thực hiện các động tác nêu trên cho điểm cơ bản $\mathbf{b}_3$ nếu cần.
- (d) Thực hiện các động tác trên cho đến khi bước trở thành quá nhỏ, đạt giới hạn cho phép, nếu cần.

Chương trình tính sau đây được soạn để tìm điểm cực tiểu hàm Rosenbroke, theo phương pháp Simplex của Nelder-Mead:

```

/* example for opt. */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <math.h>
#define sqr(X) (X) * (X)
#define IMAX 20

int k,m,N;
double xb[IMAX], xh[IMAX], xl[IMAX], stp[IMAX];
double fb;

double funceval( double xb[] )
{
    return 100.0*sqr( xb[1] - xb[0]*xb[0] ) + sqr(1.0 - xb[0]) ;
}

void DirectSearch( int N, double *xb, double fb, double *xh, double *xl,
                  double *stp, int flag, int ifns, int conv )
/* Direct Search procedure in C
   Coded in Ho Chi Minh City 1992
   by Dr. Tran Cong Nghi */
{
    register int i, j ;
    int fns, iexp, minfal, rvs[IMAX];
    double stor, temp, pat, fbp, fp;
    double a, b, tol, toll;
    double bp[IMAX];
    for (i=0; i < IMAX; i++) {
        rvs[i] = 0;
        bp[i] = 0.0;
    }
    conv = 0;
    iexp = 0;
    a = 1.20; b = 0.10; tol = 1.0e-06; toll = 1.0e-08;
    for ( i = 0; i < N; i++){
        if ( xb[i] > xh[i] ) xb[i] = xh[i];
        if ( xb[i] < xh[i] ) xb[i] = xl[i];
        if ( xh[i] == xl[i] ) stp[i] = 0.0;
        bp[i] = xb[i];
    }
    fns = 1;
    fb= funceval( xb );

```

```

fp = fbp = fb;
L2: minfal = 0;
if ( fns > ifns ) goto L21;
    if ( flag > 0 ) {
        printf ("fns = %d  fbp = %20.5lf\n", fns,fbp);
        for ( i = 0; i < N; i++)
            printf("%20.5lf  %20.5lf\n", bp[i], stp[i]);
    }
/* start the exploratory loop */
for ( i = 0 ; i < N; i++)
{
    rvs[i] = 0;
    if ( stp[i] == 0.0e+0 ) goto L10;
    stor = xb[i];
    xb[i] += stp[i];
    if ( (xb[i] > xh[i]) || (xb[i] < xl[i]) ) goto L4;
    ++fns;
    fb= funceval( xb );
    if ( flag > 1 ) {
        printf("i= %d  fb = %20.5lf\n", i, fb);
        for (j =0; j < N; j++)
            printf("%d  %25.6lf\n", j, xb[j] );
    }
    if ( fb >= fp - toll * fabs(fp) ) goto L4;
    if ( iexp == 0 ) stp[i] *= a;
L3: fp = fb;
    goto L11;
L4:
    xb[i] = stor - stp[i];
    if ( (xb[i] > xh[i]) || (xb[i] < xl[i]) ) goto L5;
    ++fns;
    fb=funceval( xb );
    if ( flag > 1 ) {
        printf("i = %d  fb = %20.5lf\n", i, fb);
        for (j=0; j < N; j++) printf("%d %25.6lf\n",j, xb[j]);
    }
    if ( fb >= fp - toll*fabs(fp) ) goto L5;
    if (iexp == 0 ) stp[i] *= a;
    rvs[i] =1; goto L3;
L5:
    xb[i] = stor;
    if ( iexp == 1) goto L10;
    stp[i] *= b;
    temp = fabs(xb[i]/stp[i])* tol;
    if ( 1.0 < temp ) stp[i] *= temp;
    else
        if (1.0 == temp ) goto L7; else goto L9;
L7:
    temp = 1.0 - 10 / fabs(stp[i]);
    if ( 1.0 >= temp ) goto L10;
L8:
    stp[i] *= temp; goto L10;
L9:
    temp = 1.0- 16 / fabs( stp[i]);
    if ( 1.0 == temp ) goto L10;
    else
        if ( 1.0 < temp ) goto L8;
        else
            goto L11;
L10:
    ++minfal;
L11:
    j = 0;
}

```

```

    if ( (fbp-fp) <= (tol * fabs(fbp)) ) goto L14;
    if ( flag > 2 ) printf("%d", fns);
    for ( i=0; i < N; i++)
        if ( rvs[i] != 0 ) stp[i] = - stp[i];

    fbp = fp;
    for ( i =0; i < N; i++)
    {
        pat = bp[i];
        bp[i] = xb[i];
        xb[i] = 2.0* bp[i] - pat;
        xb[i] = ( xb[i] > xl[i] ) ? xb[i]: xl[i];
        xb[i] = ( xb[i] < xh[i] ) ? xb[i]: xh[i];

    }
    ++fns;
    fb=funceval(xb);
    if (flag > 2 ) {
        printf("fp = %25.6lf\n", fp);
        for (i=0; i < N; i++)
            printf("% 25.6lf\n", xb[i]);
    }

    iexp =1;
    goto L2;
L14: if ( iexp ==1 ) goto L16;
    if ( minfal >= N ) goto L18;
    if (flag > 2 ) printf(" base point exploratory mode failure\n");
    for ( i=0; i < N; i++)
        if ( rvs[i] != 0 ) stp[i] = - stp[i];
    goto L2;
L16: iexp =0;
    fp = fbp;
    for (i =0; i < N; i++) xb[i] = bp[i];
    if ( flag > 2 ) printf("pattern mode exp failure\n");
    goto L2;
L18: if ( fp <= fbp ) goto L20;
    fb = fbp;
    for (i=0; i < N; i++) xb[i] = bp[i];
L20:
    if ( flag > 0 ) {
        printf("The optimum value found\nfp = %25.6lf\n",fp);
        for (i=0; i < N; i++)
            printf("xb[%d] = %25.6lf\n", xb[i] );
    }
    fb = fp;
    if ( flag > 0 ) printf("fns = %d\n",fns);
    goto L23;
L21: conv = 1;
    if ( flag > 0 ) {
        printf("number function estimates exceeded %d\n",fns);
        printf("fbp = %25.6lf\n",fbp);
        for (i=0; i < N; i++) printf("bp[%d] = %25.6lf\n",i, bp[i]);
    }
    fb = fbp;
    for ( i=0; i < N; i++)
        xb[i] = bp[i];
L23: return;
}

```

```

main()
{
    int ii, infs, fb, flag, conv;
    printf("Enter inputs: N, infs, flag\n");
    scanf("%d %d %d", &N, &infs, &flag);
    printf(" estimates of xb\n");
    scanf("%lf %lf %lf", &xb[0], &xb[1], &xb[2]);
    printf("Enter xhi\n");
    scanf("%lf %lf %lf", &xh[0], &xh[1], &xh[2]);
    printf("Enter xli\n");
    scanf("%lf %lf %lf", &xl[0], &xl[1], &xl[2]);
    for (ii=0; ii < N; ii++)
        stp[ii] = 0.24 * ( xh[ii] - xl[ii] );
    DirectSearch(N, xb, fb, xh, xl, stp, flag, infs, conv);
    printf("\n\tOutputs:\n");
    printf("fb = %20.6lf\n", fb);
    for (ii=0; ii < N; ii++) printf("xb[%d] = %20.6lf\n", ii, xb[ii]);
}

```

1.8.6. Phương pháp dùng hàm phạt penalty

Phương pháp dùng hàm phạt nằm trong phần tính tối ưu (*The Sequential Unconstrained Minimisation Technique*, viết tắt SUMT) do A.V. Fiacco và G.P. McCormick đề xướng.

Để giải hàm $f(\mathbf{x})$ như đã trình bày trên, trong phương pháp SUMT thực hiện phép biến đổi:

chuyển $z = f(\mathbf{x})$ thành $Z = f(\mathbf{x}) + P(\mathbf{x})$. (1.51)

Hàm $P(\mathbf{x})$ được gọi là hàm phạt (*Penalty*). Hàm $P(\mathbf{x})$ đồng thời mang đặc tính rào chắn, nó có thể còn được gọi là hàm ba-rie (rào chắn). Bây giờ tiến hành tìm cực trị của hàm Z trong miền hạn chế do đầu đề đặt ra, cụ thể hơn trong hàng rào chắn của hàm ba-rie.

Hàm $P(\mathbf{x})$ thường được viết dưới dạng:

$$P(\mathbf{x}) = \mathbf{r} \sum_{j=1}^m \frac{1}{c_j(x)} \quad (1.52)$$

trong đó $\mathbf{r}$ - đại lượng mang giá trị dương.

Hàm $Z = \varphi(\mathbf{x}, \mathbf{r})$ dưới đây có dạng:

$$Z = \varphi(\mathbf{x}, \mathbf{r}) = f(\mathbf{x}) + \mathbf{r} \sum_{j=1}^m \frac{1}{c_j(x)} \quad (1.53)$$

Yêu cầu đặt ra cho vector $\mathbf{r}$ là, $\mathbf{r}$ phải là đại lượng vô cùng nhỏ để ảnh hưởng của hàm $P(\mathbf{x})$ rất nhỏ tại điểm đạt cực trị. Từ đó có thể coi điểm mà hàm $\varphi(\mathbf{x}, \mathbf{r})$ không hạn chế đạt cực trị, trùng với điểm cực trị của hàm $f(\mathbf{x})$ cùng các hạn chế.

Ví dụ đơn giản nhất về hàm mục tiêu, hàm phạt dưới dạng hàm rào cản được minh họa bằng bài toán đơn thuần, không gắn với hiện tượng vật lý nào, như sau:

$$f(x) = x \rightarrow \min.$$

Các điều kiện hạn chế:

$$x \geq 2, \text{ tương đương với } x - 2 \geq 0.$$

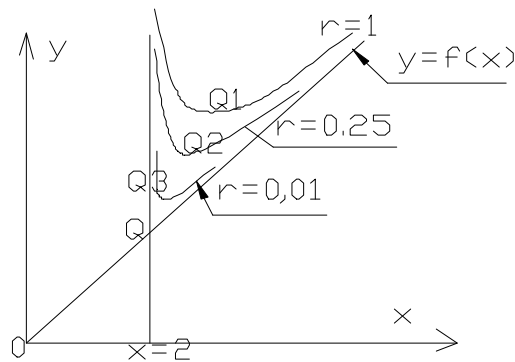
Có thể nhìn thấy ngay lập tức hàm $f(x)$ bậc nhất, khi x tăng, $f(x)$ tăng, do vậy hàm chỉ có thể đạt giá trị nhỏ nhất tại $x = 2$, và $f(x)_{\min} = 2$. Để giải bài toán theo phương pháp hàm phạt, tiến hành xây dựng hàm rào cản $P(x)$. Bài toán được đưa về dạng:

$$Z = \varphi(\mathbf{x}, \mathbf{r}) = f(\mathbf{x}) + \mathbf{r} \sum_{j=1}^m \frac{1}{c_j(\mathbf{x})} = x - \frac{r}{x-2}$$

Lời giải bài toán được minh họa trên hình bên. Trên đồ thị thấy rõ, với r nhỏ dần, từ $r = 1$, sau đó 0,25, 0,01 điểm Q tiến từ Q_1 , Q_2 , và Q_3 . Giá trị Q đạt được tại $x = 2$ là điểm gặp nhau của $f(x)$ và đường hạn chế $x = 2$. Phạm vi hạn chế nằm bên phải đường $x = 2$ như thể hiện trên hình. Một trong các cách tìm x tại đó hàm $\varphi(\mathbf{x}, \mathbf{r})$ đạt cực trị là khảo cứu x để đạo hàm bậc nhất bằng 0.

$$\frac{d\varphi}{dx} = 1 - \frac{r}{(x-2)^2}$$

Giá trị để $d\varphi/dx = 0$ chính là $x = 2 \pm \sqrt{r}$



Hình 1.6

Khi đó:

$$\frac{d^2\varphi}{dx^2} = \frac{2r}{(x-2)^3}$$

và điểm để hàm đạt minimum là $x = 2 + \sqrt{r}$, trong miền hạn chế.

Giá trị của hàm tại điểm đang xét $2 + 2\sqrt{2}$. Vị trí các điểm Q_i , $i = 1, 2, 3$ xác định trên đồ thị. Tọa độ điểm Q_1 sẽ là (3; 4), Q_2 tại (2,5 ;3), còn Q_3 là (2,1; 2,2). Như vậy khi $r \rightarrow 0$, hàm $\varphi(x, r)$ của miền hạn chế tiến đến 2 như đã thấy.

Cách tìm điểm cực trị tiến hành theo thứ tự sau.

Nếu $\mathbf{x}_1$ và $\mathbf{x}_2$ là những điểm nằm trong vùng được hạn chế, thỏa mãn $c_j(\mathbf{x}_1) \geq 0$ và $c_j(\mathbf{x}_2) \geq 0$, với $i = 1, 2, \dots, m$, với mọi giá trị của $0 \leq \theta \leq 1$ sẽ thỏa mãn bất đẳng thức sau:

$$c_j(\theta.\mathbf{x}_2 + (1 - \theta).\mathbf{x}_1) \geq \theta.c_j(\mathbf{x}_2) + (1 - \theta).c_j(\mathbf{x}_1) \geq 0,$$

cho hàm $c_j(x)$ lồi.

Và như vậy điểm $\mathbf{x}_2 + (1 - \theta).\mathbf{x}_1$ trong phạm vi $0 < \theta < 1$ cũng sẽ nằm trong phạm vi tìm kiếm. Ngoài ra hàm $1/c_j(\mathbf{x})$ cũng là hàm lồi cho tất cả giá trị $\mathbf{x}$ nếu $\mathbf{x}$ thỏa mãn $c_j(\mathbf{x}) \geq 0$.

Nếu $h(\mathbf{x}) = 1/c_j(\mathbf{x})$ thì

$$\nabla h(\mathbf{x}) = \frac{-\nabla c_j(x)}{[c_j(x)]^2} \quad (1.54)$$

Ma trận Hess của $h(\mathbf{x})$ có dạng:

$$H(\mathbf{x}) = -\frac{C(x)}{[c_j(x)]^2} + \frac{2\nabla c_j(x)\nabla c_j(x)^T}{[c_j(x)]^3} \quad (1.55)$$

trong đó $C(\mathbf{x})_{ik} = \frac{\partial^2 c_j(x)}{\partial x_i \partial x_k}$ là hàm Hess của $c_j(\mathbf{x})$.

Nếu ký hiệu $\mathbf{p}$ - vector bất kỳ, phương trình chứa $\mathbf{p}$ sau đây cũng là phương trình có nghĩa:

$$\mathbf{p}^T H(\mathbf{x}) \mathbf{p} = \frac{p^T C(x) p}{[c_j(x)]^2} + \frac{2[p^T \nabla c_j(x)]^2}{[c_j(x)]^3} \quad (1.56)$$

trong đó luôn luôn thoả mãn $\mathbf{p}^T H(\mathbf{x}) \mathbf{p} \geq 0$. Với ma trận Hess $H(\mathbf{x})$ dương thì $1/c_j(\mathbf{x})$ phải là lồi trong toàn miền.

Giả sử rằng $x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*$ là điểm cực trị của hàm $\varphi(\mathbf{x}, r)$ với các giá trị giảm dần $r_1, r_2, \dots, r_k, \dots$, cho đến 0. Khi đó chuỗi điểm $x_1^*, x_2^*, \dots, x_k^*, \dots$ hội tụ về lời giải bài toán tìm cực trị với hạn chế kiểu c đã cho khi $r_k \rightarrow 0$.

Từ đó:

$$\lim x_k = x^* \quad (1.57)$$

$$\text{và } \lim_{r_k \rightarrow 0} [\min \varphi(x, r_k)] = f(x^*) \quad (1.58)$$

trong đó x^* - điểm hàm $f(\mathbf{x})$ đạt cực trị, với hạn chế đã đặt ra.

Trong trường hợp có nghiệm các phép tính đưa về dạng:

$$f(\mathbf{x}^*_k) \rightarrow f(\mathbf{x}^*) \text{ và } \mathbf{r}_k \sum_{j=1}^m \frac{1}{c_j(x_k^*)} \rightarrow 0 \quad (1.59)$$

Ví dụ: Tìm giá trị nhỏ nhất của hàm $f(x_1, x_2) = (1/3)(x_1 + 1)^3 + x_2$,

với hạn chế:

$$x_1 - 1 \geq 0; \quad x_2 \geq 0.$$

Tìm hàm $\varphi(\mathbf{x}, r)$ dạng (5.19):

$$\varphi(x, r) = \frac{1}{3}(x_1 + 1)^3 + x_2 + r \left(\frac{1}{x_1 - 1} + \frac{1}{x_2} \right)$$

Điều kiện cần để hàm $\varphi()$ đạt minimum sẽ là:

$$(x_1 + 1)^2 - \frac{r}{(x_1 + 1)^2} = 0; 1 - \frac{r}{x_2^2} = 0$$

Nghiệm của hai phương trình này:

$$x_1(r) = \sqrt{1 + \sqrt{r}};$$

$$x_2(r) = \sqrt{r}$$

Giá trị nhỏ nhất của hàm $\varphi(\mathbf{x}, r)$ tính từ công thức:

$$\varphi^*(r) = \left\{ \frac{1}{3} \left[\left(1 + \sqrt{r} \right)^{1/2} + 1 \right]^3 + \sqrt{r} + \sqrt{r} \left[\left(1 + \sqrt{r} \right)^{1/2} + 1 \right]^3 \right\} \quad (1.60)$$

Khi $r \rightarrow 0$ hàm $x_1(r) \rightarrow 1$; $x_2(r) \rightarrow 0$ và $\varphi^*(r) \rightarrow f(1; 0) = 8/3$.

Giải thuật Fiacco và McCormick tóm tắt như sau:

$$\text{Tìm giá trị nhỏ nhất của hàm } \varphi(\mathbf{x}, \mathbf{r}) = f(\mathbf{x}) + \mathbf{r} \cdot \sum_{j=1}^m \frac{1}{c_j(x)} = f(\mathbf{x}) + \mathbf{r} \cdot P(\mathbf{x}) \quad (5.26)$$

Gradient của hàm $\varphi(\mathbf{x}, \mathbf{r})$ tìm dạng sau:

$$\nabla \varphi(\mathbf{x}, \mathbf{r}) = \nabla f(\mathbf{x}) + \mathbf{r} \nabla P(\mathbf{x}) \quad (1.61)$$

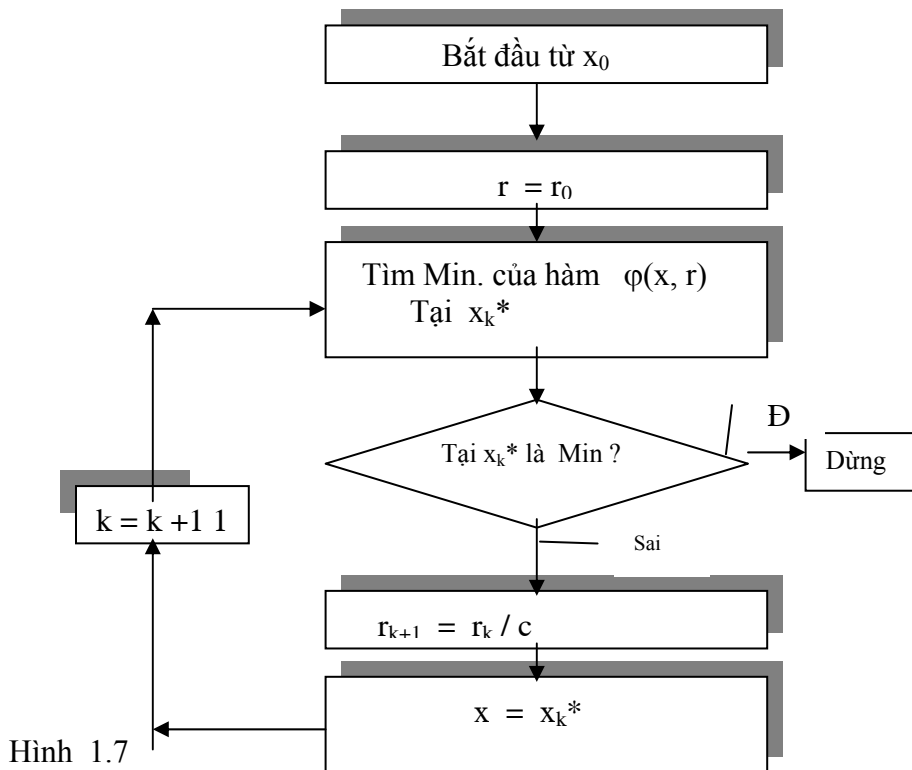
Từ đó có thể viết:

$$\nabla f(\mathbf{x})^T \nabla f(\mathbf{x}) + 2\mathbf{r} \cdot \nabla f(\mathbf{x})^T \nabla P(\mathbf{x}) + \mathbf{r}^2 \nabla P(\mathbf{x})^T \nabla P(\mathbf{x}) \quad (1.62)$$

và giá trị tối thiểu tìm cho vector $\mathbf{r}$ ban đầu:

$$\mathbf{r} = \frac{-\nabla f(x)^T \nabla P(x)}{\nabla P(x)^T \nabla P(x)} \quad (1.63)$$

Các giá trị thử nghiệm lần sau có thể là $r_{k+1} = r_k / C$, với C ví dụ bằng 10.



Hình 1.7

Điều có thể nói ở đây để tìm giá trị cực tiểu của hàm $\varphi(\mathbf{x}, r_{k+1})$ tốt nhất nên dùng phương pháp gradient. Cụ thể hơn, trong các phương pháp gradient, với trường hợp vừa nêu phương pháp DFP (Davidon-Fletcher-Powell) thích hợp hơn cả.

Chương trình giới thiệu tiếp sau đây nhằm khảo sát hàm:

$$f(\mathbf{X}) = (x_1 - 1)(x_1 - 2)(x_1 - 3) + x_3$$

Cùng hạn chế:

$$x_1 \geq 0; x_2 \geq 0; x_3 \geq 0;$$

$$x_3^2 - x_1^2 - x_2^2 \geq 0;$$

$$x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 - 4 \geq 0;$$

$$x_3 \leq 0;$$

$$\varphi(\mathbf{X}, r) = f(\mathbf{X}) + r \left(\frac{1}{x_3^2 - x_1^2 - x_2^2} + \frac{1}{x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 - 4} + \frac{1}{5 - x_3} + \frac{1}{x_1} + \frac{1}{x_2} + \frac{1}{x_3} \right)$$

```
/* The Sequential Unconstrained Minimisation Technique
   for nonlinear programming
   A.V. Fiacco and G.P. McCormick
   ref. SIAM J. Appl. Math. 17,1969 */
```

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <math.h>
```

```
#define M 10
#define N 20
```

```
/* double x[N], c[M], cg[N], g[N], r; */
double funceval( double x[], double c[], int m, double r, double a, double b )
{
    register int i;
    a = ( x[0] -1) * ( x[0] -2) * ( x[0] -3 ) + x[2];
    b =0.0;
    for ( i=0; i< m; i++) b += 1.0/c[i] ;
    return ( a+ r*b);
}
```

```
double geval( double x[], double g[], double cg[], double c[], double r,int m)
{
    register int i;
    double ka, kb, kc, g0;
    ka = x[0] -1;
    kb = x[0] - 2;
    kc = x[0] - 3;
    g[0] = ka* kb + kb* kc + kc* ka;
    cg[0] = -(-2*x[0]/c[0]*c[0]) + 2* x[0] /(c[1]*c[1]) +
        1.0/ (c[3]*c[3]);
    g[0] += r* cg[0];
    g[1] = 0.0;
    cg[1] = -(-2*x[1]/c[0]*c[0]) + 2* x[1] /(c[1]*c[1]) +
        1.0/ (c[4]*c[4]);
    /*cg[1] = 0*/
    g[1] += r* cg[1];
    g[2]= 1.0;
    cg[2] = -(-2*x[2]/c[0]*c[0]) + 2* x[2] /(c[1]*c[1]) +
        1.0/ (c[2]*c[2]);
```

```

cg[2] -= 1.0/ (c[5] * c[5]);
g[2] += r* cg[2];
g0=0;
for ( i=0; i< m; i++) g0 += g[i] * g[i];
return sqrt( g0 );
}

void constrain( double x[], double c[], int i)
{
switch( i ) {
    case '0': { c[0] = x[2]* x[2] - x[0]*x[0] -x[1]* x[1];
                break;
            }
    case '1' : { c[1] = x[0]*x[0] + x[1]*x[1] + x[2]*x[2];
                break;
            }
    case '2' : { c[2] = 5- x[2]; break;
            }
    case '3' : { c[3] = x[0];
                break;
            }
    case '4' : { c[4] = x[1];
                break;
            }
    case '5' : { c[5] = x[2];
                break;
            }
}
}

main()
{
register int i,j;
int m, n, s, ii, cc, ic[M];
double p[N], u[N], d[N], v[N], rr[N],q[N], mm[N],y[N],r ;
double x[N], c[M], cg[N], g[N], h[N][N];
double t, b, fp,ff, fq, fr,z;
double g0, g1,g2,gp, gq,gr, w, ww, zz, dd,L;
double hh,kk, wk,dk,aa,bb ;

printf("\nEnter Number of Var N =");
scanf("%d", &n);
printf("\nEnter num of Constrains M =");
scanf("%d", &m);
printf("\nEnter %d values of vector X: ",n);
for( i=0; i< n; i++) scanf("%d", &x[i]);
s=0;
for ( ii=0; ii<m; ii++) {
constrain(x, c, ii );
if( c[ii] <0.0 ) {
s++;
ic[ii] = 1;
}
}
if( s>0 ) printf("\nFirst point is not legal. Program terminated");
exit(0);
}

```

```

t = b = r =0.0;
cc =0;
g1 = geval(x, g, cg, c, r, m );
for( i =0; i < n; i++) {
t -= g[i] * cg[i];
b += cg[i] * cg[i];
}
r = t/b;
if( r < 0.0 ) r =1.0;
L4:
for ( i=0; i < n; i++) {
for ( j=0; j <n; j++)
h[i][j] =0.0;
h[i][i] =1.0;
}
L5:
for(i=0; i <n; i++) y[i] = p[i] =x[i];
for( ii =0; ii < m; ii++) constrain(x, c, ii );
z = funceval(x, c, m, r, aa, bb );
fp = z;
g1 = g0 = geval(x, g, cg, c, r, m );
ff =z;
L54:
for(i=0; i<n; i++) {
u[i] = g[i];
d[i] =0.0;
for( j=0; j <n; j++) d[i] -= h[i][j] * g[j];
}
gp =0.0;
for ( i=0; i <n; i++) gp += g[i]* d[i];
if( gp > 0.0 ) printf( "\nWarning: function is increasing!");
L =2;
for(i=0; i <n; i++) {
L65:
s=0;
for(ii =0; ii <m; ii++) {
L67:
ic[ii] =0;
constrain(x, c, ii );
if (c[ii] >= 0 ) goto L73;
ic[ii] =1;
s++;
L /= 1.05;
for( i=0; i <n; i++) x[i] = p[i] + L*d[i];
goto L67;
L73: ;
}
if( s > 0 ) goto L65;
hh =L;
for(i=0; i <n; i++) x[i] = q[i] = p[i]+ hh*d[i];
for ( ii=0; ii <m; ii++) constrain(x, c, ii );
fq= z = funceval(x, c, m, r, aa, bb );
g2 = g0= geval(x, g, cg, c, r, m);
gq =0;
for(i=0; i <n; i++) gq += g[i] * d[i];
if( gq < 0.0 && fq < fp ) goto L11;
goto L12;
L11:

```

```

for(i=0; i < n; i++) {
    for( j =0; j < n; j++) h[i][j] -= d[i]* d[j] /gp;
    y[i] = x[i] =p[i] =q[i];
}
ff = fp = z;
g1 = g0;
goto L54;
L12:
zz = 3*(fp-fq) /hh;
zz += gp+gq;
ww = zz*zz - gp* gq;
if ( ww < 0.0 ) ww =0.0;
w = sqrt( ww );
dd = hh* ( 1.0 - ( gq +w - zz ) / ( gq - gp +2*w ) );
for( i=0; i <n; i++) x[i] = p[i] + dd* d[i];
for(ii =0; ii < m; ii++) constrain(x, c, m, r, aa, bb );
fr = z = funceval(x, c, m, r, aa, bb );
g0= geval(x, g, cg, c, r, m);
gr =0;
for( i=0; i <n; i++) gr += g[i] *d[i];
if( z <= fp && z <= fq ) goto L14;
if( gr > 0.0 ) goto L19;
    hh -= dd;
    for( i=0; i < n; i++) p[i] = x[i];
    fp =z; gp =gr; g1 =g0;
    goto L12;
L19:
    hh =dd;
    for(i=0; i<n; i++) q[i] = x[i];
    fq = z; gq = gr; g2 = g0; goto L12;
L14:
    for( i=0; i <n; i++) {
        u[i] = g[i]- u[i];
        v[i] =x[i] -y[i];
    }
for( i=0; i <n; i++) {
mm[i] =0;
    for( j=0; j < n; j++) mm[i] += h[i][j] * u[j];
    kk += mm[i] * u[i];
    wk += v[i] * u[i];
}
if( kk ==0.0 || wk ==0.0 ) goto L15;
for(i=0; i<n; i++)
    for( j=0; j < n; j++)
        h[i][j] += -mm[i]* mm[j] /kk + v[i] * v[j] /wk;
L15:
cc++;
if( fabs( (ff - z)/ff < 1.0e-5 ) goto L16;
ff = z; goto L5;
L16:
if( r*bb < 1.0e-5 ) goto L18;
r /= 10.0;
goto L4;
L18:
for( i=0; i < n; i++) printf("%d %20.8f\n",i, x[i]);
printf("\n Value of f(x) = %20.8f",aa);
}
}

```

Chương 2

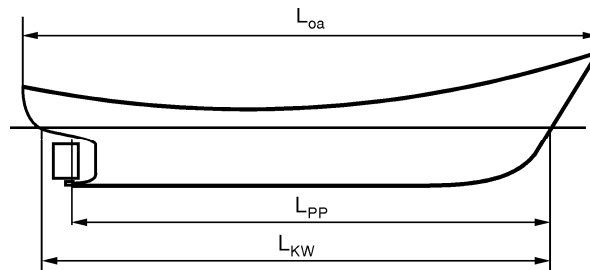
TÍNH NỔI VÀ TÍNH ỔN ĐỊNH TÀU

2.1 TÍNH NỔI TÀU THỦY

2.1.1. Kích thước chính và các hệ số thân tàu

Phân biệt các tên gọi liên quan đến chiều dài tàu sau:

Chiều dài toàn bộ tàu, L_t hoặc L_{oa} , là khoảng cách đo từ điểm xa nhất trước tàu đến điểm xa nhất sau lái.

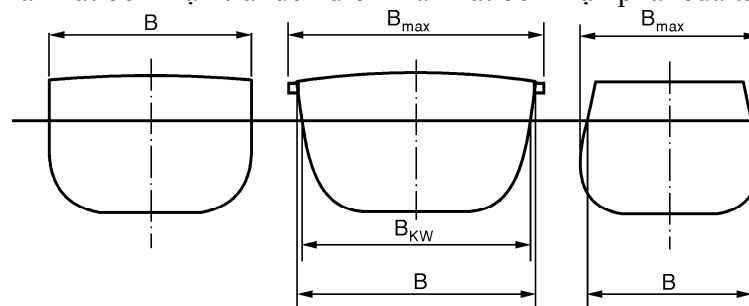


Hình 2.1

Chiều dài đường nước kết cấu L_{KW} , đo trên đường nước thiết kế, kể từ điểm tiếp nước ở mũi tàu đến điểm tiếp nước phía sau lái.

Chiều dài giữa hai trụ L_{pp} , là khoảng cách đo trên mặt đường nước, tính từ trụ lái đến trụ mũi. Trên tàu vỏ thép trụ lái được hiểu là trục đi qua trục quay bánh lái, còn trụ mũi đi qua điểm cắt nhau của đường nước thiết kế với mép ngoài trên lô mũi tàu. Với các tàu có vách đuôi nằm nghiêng so với mặt cơ bản qua đáy (vách T), trụ lái nhận đi qua đường cắt của vách nghiêng với đường nước thiết kế, tính trên mặt cắt dọc giữa tàu.

Chiều rộng tàu lớn nhất B_{max} , là khoảng cách lớn nhất đo tại mặt cắt ngang tại khu vực rộng nhất của tàu, tính từ điểm xa nhất bên mạn trái đến điểm xa nhất bên mạn phải của tàu.



Hình 2.2

Chiều rộng tàu B , thuật ngữ chuyên ngành bằng tiếng Anh viết đầy đủ là Breadth moulded, là khoảng cách đo từ mạn trái đến mạn phải tàu, tại mặt cắt ngang tàu đi qua mặt rộng nhất của tàu. Với tàu có mặt cắt hình U hoặc V, vị trí đo nằm tại mép boong. Với tàu dạng ω chiều rộng tàu đo tại vị trí rộng nhất của mặt cắt.

Chiều cao tàu, ký hiệu bằng D hoặc H , là khoảng cách đo theo chiều thẳng đứng, tính từ mép trong của tấm ki chính đến mép trên của xà ngang boong mạn khô. Với tàu nhiều boong, boong mạn khô được hiểu là boong có kết cấu kín nước, có hệ thống đập kín các lỗ khoét trên boong và các lỗ khoét bên mạn, nằm ở vị trí cao nhất.

Mớn nước tàu ký hiệu bằng d hoặc T , đo trên trục thẳng đứng, tính từ đường cơ bản qua đáy tàu, đến đường nước thiết kế. Với tàu đáy bằng mớn nước tiêu chuẩn đo tại giữa tàu. Phân biệt các tên gọi thường dùng sau.

Mớn nước d (chiều chìm), thuật ngữ chuyên ngành trong tiếng Anh gọi là draught moulded (tiếng Mỹ: draft molded) đo từ đường cơ bản. Chiều cao đo từ mép dưới sống chính gọi là keel draft, còn **mớn nước trung bình d_m** là giá trị trung bình cộng của mớn nước đo tại trụ lái và mớn nước đo tại trụ mũi.

Mớn nước lái đo tại trụ lái, tính cả chiều nghiêng của sống chính, nếu có.

Mớn nước mũi đo tại trụ mũi, tính cả độ nghiêng của sống chính.

Mạn khô

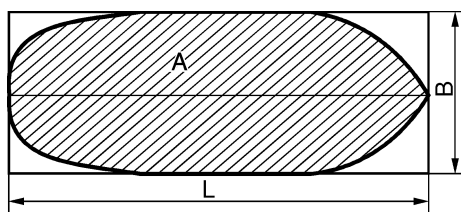
Chiều cao mạn khô tàu là hiệu số giữa chiều cao và mớn nước tàu:

$$Fb = D - d \text{ hoặc } H - T$$

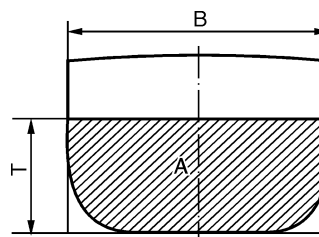
Hệ số đầy

Quan hệ giữa kích thước chính của tàu với thể tích phần chìm, diện tích đường nước, diện tích mặt giữa tàu vv... được thể hiện qua các hệ số đầy.

Hệ số đầy đường nước



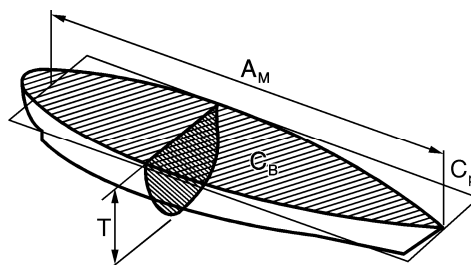
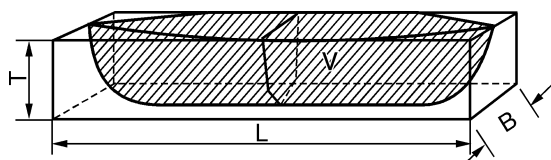
Hình 2.3



Hình 2.4

C_W hoặc α , là tỉ lệ giữa diện tích mặt đường nước được vỏ tàu giới hạn và diện tích hình chữ nhật có cạnh là chiều dài và chiều rộng đường nước. Nếu ký hiệu A_W - diện tích mặt đường nước, L - chiều dài tàu, đo tại đường nước, B - chiều rộng tàu, hệ số C_W tính theo công thức:

$$C_B = \frac{V}{L \times B \times T}$$



Hình 2.5

$$C_W = \frac{A_W}{LxB}$$

Hệ số đầy sườn giữa tàu, C_M hoặc β , là tỉ lệ giữa diện tích phần chìm của sườn giữa tàu A_M với diện tích hình chữ nhật ngoại tiếp nó, cạnh $B \times T$

$$C_M = \frac{A_M}{B \times T}$$

Hệ số đầy thể tích, C_B hoặc δ , là tỉ lệ giữa thể tích phần chìm của tàu V với thể tích hình hộp ngoại tiếp nó. Hệ số C_B tính theo công thức:

$$C_B = \frac{V}{LxB \times T}$$

Hệ số đầy lũng trụ, C_P hoặc φ , là tỉ lệ giữa thể tích phần chìm tàu V so với ống trụ dài bằng chiều dài đường nước L , diện tích mặt trụ A_M .

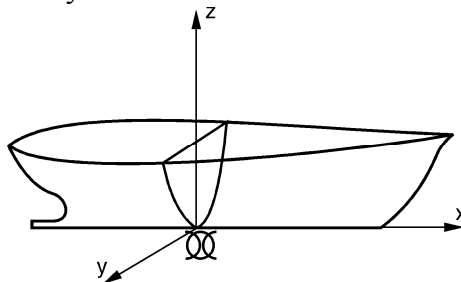
$$C_P = \frac{V}{A_M \times L} \quad \text{hay là} \quad C_P = \frac{C_B}{C_M}$$

Hệ số đầy trụ đứng, C_V hoặc χ , là tỉ lệ giữa thể tích phần chìm so với trụ đứng cao T , mặt trụ A_W .

$$C_V = \frac{V}{A_W \times T} \quad \text{hay là} \quad C_P = \frac{C_B}{C_W}$$

Đường hình vỏ tàu

Đường hình lý thuyết của vỏ tàu được biểu diễn trong hệ tọa độ gắn liền với vỏ tàu như trên hình. Trục OZ hướng lên trên. Trục OX trùng với chiều dọc tàu, hướng về trước, còn trục OY hướng sang mạn phải. Tâm của hệ tọa độ đặt tại giao điểm ba mặt phẳng: mặt cắt ngang giữa tàu, mặt cắt dọc giữa tàu và mặt cơ bản qua đáy tàu.



Hình 2.6

Đường lý thuyết miêu tả vỏ tàu được qui ước vẽ trong bản vẽ hai chiều 2D, bao gồm các phần sau.

Hình chiếu các vết cắt dọc tàu do mặt phẳng dọc giữa tàu và các mặt phẳng song song với mặt này tạo thành. Cụm vết cắt này nằm phía trái, trên.

Hình chiếu các vết cắt vỏ tàu qua các đường nước, nằm phía trái, dưới.

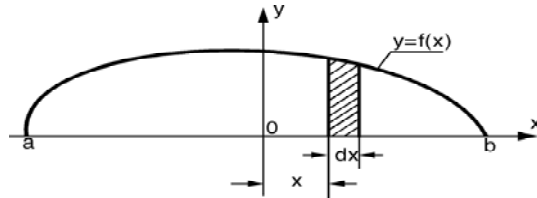
Hình chiếu các mặt cắt ngang tàu, gọi là các sườn lý thuyết, nằm phía phải, trên.

Tính các đại lượng hình học vỏ tàu

Từ đường hình lý thuyết tiến hành tính các giá trị đặc trưng hình học vỏ tàu. Thứ tự tính toán chia làm hai giai đoạn: (1) các đại lượng đặc trưng trong mặt đường nước và (2) các đại lượng đặc trưng trong sườn tàu. Sau hai phần tính vừa nêu tiến hành tính toán cho toàn tàu.

Đại lượng hình học đường nước

Biểu diễn đường nước bất kỳ của tàu dưới dạng đường cong dạng $y = f(x)$, các phép tính đại lượng hình học đường nước được đưa về dạng sau.



Hình 2.7

Diện tích đường nước A_W .

$$A_W = \int_a^b y dx$$

Tấn trên 1cm chiều chìm (Tons per cm Immersion – TPcm)

Trong môi trường nước ngọt: $TPcm = \frac{A_W}{100}$

Trong môi trường nước biển: $TPcm = \frac{1,025 \times A_W}{100}$

trong đó: A_W tính bằng m^2 .

Moment tĩnh so với trục Oy: $m_{oy} = \int_a^b xy dx$

Moment tĩnh so với trục Ox: $m_{ox} = \int_a^b \frac{1}{2} y^2 dx$

Tọa độ tâm diện tích đường nước, tính đến trục Oy:

$$LCF = \frac{\int_a^b xy dx}{\int_a^b y dx}$$

Tọa độ tâm diện tích đường nước, tính đến trục Ox:

$$TCF = \frac{\frac{1}{2} \int_a^b y^2 dx}{\int_a^b y dx}$$

Momen quán tính so với trục dọc:

$$I_L = 2 \int_a^b x^2 y dx$$

Momen quán tính mặt đường nước so với trục O'y' cách Oy một đoạn LCF tính theo công thức trên sẽ là:

$$I_L' = I_L - (LCF)^2 \cdot A_w$$

Momen quán tính mặt đường nước so với trục ngang:

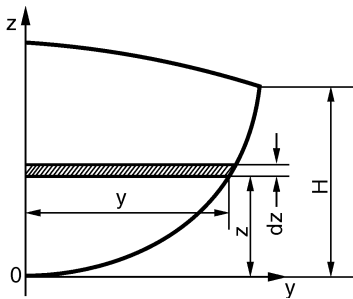
$$I_T = \frac{2}{3} \int_a^b y^3 dx$$

Trong các biểu thức trên y mang giá trị $\frac{1}{2}$ chiều rộng vỏ tàu tại vị trí đang xét.

2.1.2 Tỷ lệ Bonjean

Diện tích mặt sườn tính đến mớn nước Z.

$$S(z) = 2 \int_0^z y \cdot dz$$



Momen tĩnh so với trục Oy của mặt sườn:

$$m(z) = 2 \int_0^z yz \cdot dz$$

Tâm diện tích mặt sườn thuộc phần chìm đến mớn nước Z tính theo công thức:

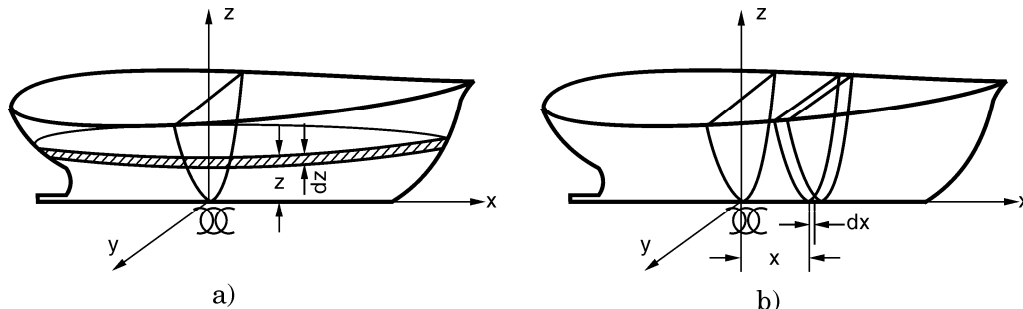
$$VC(z) = \frac{m(z)}{S(z)} = \frac{\int_0^z yz \cdot dz}{\int_0^z y \cdot dz}$$

Với mỗi sườn tàu, từ kết quả tính diện tích phần chìm và momen tĩnh phần chìm so với đáy, có thể vẽ hai đường cong miêu tả biến thiên của hai giá trị trên theo chiều chìm Z. Tập hợp toàn bộ các đường cong kiểu này, lập cho tất cả sườn tính toán sẽ được đồ thị có tên gọi **tỷ lệ Bonjean**.

2.1.3 Thể tích phần chìm và các đại lượng liên quan đến thể tích

Tính thể tích phần chìm được tiến hành theo một trong hai cách:

- 1- Tính từ dưới lên trên cơ sở dữ liệu của tất cả đường nước hoặc
- 2- Tính theo chiều dọc tàu, sử dụng dữ liệu các sườn làm cơ sở.



Hình 2.9

Thể tích phần chìm, tính đến mớn nước Z:

$$V(z) = \int_0^z A_W(z).dz$$

trong đó V - thể tích phần chìm, $A_W(z)$ - diện tích đường nước.

Sử dụng tỉ lệ Bonjean khi tính thể tích phần chìm:

$$V(z) = \int_{-L/2}^{L/2} S(x).dx$$

trong đó $S(x)$ diện tích sườn, tính đến mớn nước Z , đọc từ biểu đồ Bonjean.

Momen thể tích phần chìm so với mặt phẳng qua đáy tàu:

$$M_{XOY} = \int_0^z A_W(z).z.dz$$

Momen thể tích phần chìm so với mặt giữa tàu:

$$M_{YOZ} = \int_{-L/2}^{L/2} S(x).x.dz$$

Tọa độ tâm nổi phần chìm:

Chiều cao tâm nổi, ký hiệu KB hoặc Z_B :

$$KB \equiv Z_B = \frac{\int_0^z A_W(z).z.dz}{\int_0^z A_W(z).dz} = \frac{M_{XOY}(z)}{V(z)}$$

Hoành độ tâm nổi, ký hiệu LCB hoặc X_B :

$$LCB \equiv X_B = \frac{\int_0^L S(x).x.dz}{\int_0^L S(x).dz} = \frac{M_{YOZ}(z)}{V(z)}$$

Các đường cong tính nổi

Kết quả tính các đặc trưng hình học vỏ tàu được tập hợp trong một bảng vẽ chung mang tên gọi **các đường cong tính nổi của tàu**. Thuật ngữ chuyên ngành để chỉ đồ thị dạng này không giống nhau ở nhiều nước, trong đó có nước ta. Một nước có nền công nghiệp đóng tàu phát triển, có ảnh hưởng lớn đến sách vở của Việt nam gọi đây là các đường cong yếu tố đường hình. Trong tài liệu chính thức của tổ chức hàng hải quốc tế IMO, họ đường cong này mang tên gọi bằng tiếng Anh **hydrostatic curves**, có nghĩa **các đường thủy tĩnh** của tàu.

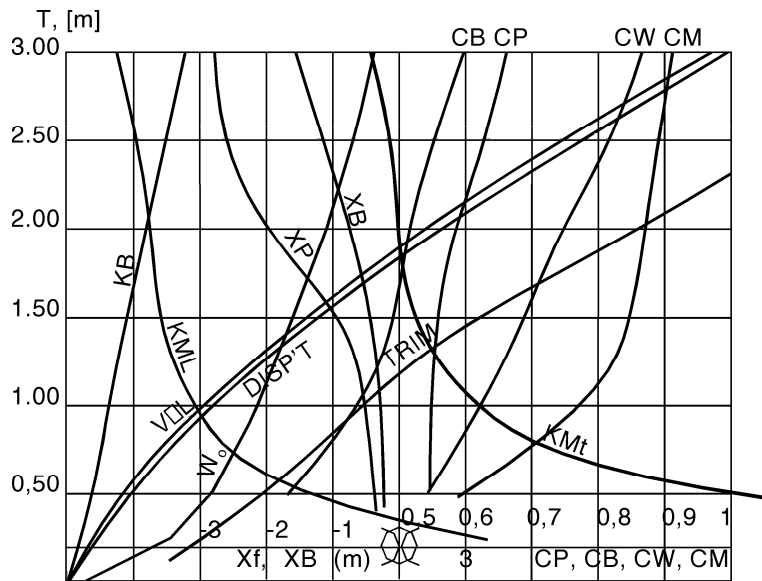
Các đường cong bắt buộc có mặt trong đồ thị này:

1. Thể tích phần chìm ∇ hoặc V .
2. Lượng chiếm nước $\Delta = \gamma \nabla$ hoặc ký hiệu cách khác $D = \gamma V$
3. Hoành độ tâm nổi LCB.
4. Chiều cao tâm nghiêng KM tính theo công thức: $KM = KB + BM = KB + \frac{I_T}{V}$
5. Hoành độ tâm đường nước LCF
6. Momen làm nghiêng dọc tàu 1 cm, ký hiệu M_{TRIM} hoặc $MTcm$: $MTcm = \gamma \frac{I_L}{L}$

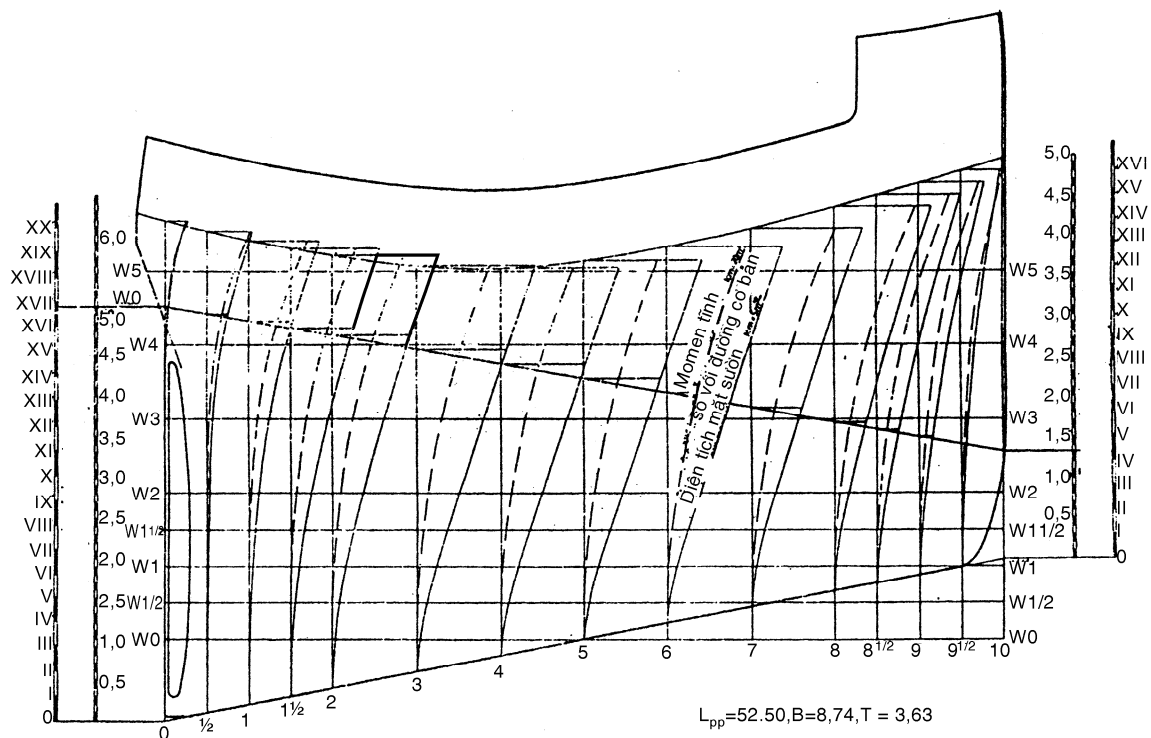
7. Chiều cao tâm nổi KB

8. Chiều cao tâm nghiêng dọc: $KM_L = KB + BM_L = KB + \frac{I_L}{V}$

9. Các hệ số đầy (béo) thân tàu.



Hình 2.10 Các đường thủy tĩnh



Hình 2.11 Đồ thị Bonjean

2.1.4 TÍNH CÁC ĐƯỜNG THỦY TÍNH TRÊN MÁY CÁ NHÂN

Các đại lượng hình học trình bày trên được chia làm ba nhóm khác nhau lúc tính.

- (1) Tính diện tích, momen tĩnh, momen quán tính, hệ số đầy đường nước, momen chúi đơn vị vv... trong mỗi đường nước.
- (2) Tính diện tích phần chìm các sườn, momen tĩnh so với đáy, so với mặt giữa tàu cho mỗi sườn, thực hiện trong mặt sườn
- (3) Tính thể tích phần chìm và các đại lượng liên quan đến thể tích.

Các phép tích phân được phân vào hai dạng, tích phân giới hạn xác định dọc chiều dài tàu và tích phân giới hạn trên thay đổi thủy thuộc món nước tính toán.

Chuẩn bị dữ liệu.

1/ Chọn số sườn tính toán, số đường nước cần thiết khi tính,

2/ Vị trí các sườn tính toán ghi trong hệ tọa độ tương đối, đơn vị tính $dL = L_{pp}/(10 \text{ hoặc } 20)$, ví dụ:

Bảng 2.4

Thứ tự	1	2	3	...						NS-1	NS
Vị trí sườn	#0	#½	#1	#1½	#2					#19½	20

3/ Vị trí các đường nước theo đơn vị tính dT , ví dụ:

Bảng 2.5

Thứ tự	1	2	3	...	NW
Vị trí đường nước	0	½	1	...	

4/ Tọa độ vòm đuôi so với trụ lái, ghi lại dưới dạng bảng

Bảng 2.6

Thứ tự	1	2	3	...	...	NW+1
Tọa độ vòm đuôi						

5/ Chiều dài thật của tất cả đường nước tính toán,

6/ Chiều cao của tất cả các sườn tính toán,

7/ Tọa độ vỏ tàu, xác định tại tất cả các sườn tính toán, qua tất cả đường nước tính toán. Tọa độ vỏ tàu (giá trị ½ chiều rộng tàu) ghi dưới dạng ma trận như ví dụ sau:

Bảng 2.8

Thứ tự đường nước Sườn	0	1/2	1			NW	Boong
# 0							
#½							
....							
# sườn cuối							

Thứ tự ghi dữ liệu như minh họa trên hình trên đây.

Chương trình tính thực hiện các phép tính theo thứ tự sau:

Tích phân trong mặt đường nước thứ $j, j = 1, 2, \dots, NW$

Diện tích:
$$A_W = 2 \int_L y dx \quad (a)$$

Tâm đường nước:

$$LCF = \frac{\int_L x \cdot y \cdot dx}{\int_L y dx} \quad (b)$$

Momen quán tính dọc, qua trục trung hòa:

$$I_L = 2 \int_L x^2 \cdot y dx - a^2 \cdot A_W \quad (c)$$

Momen quán tính ngang:

$$I_t = \frac{2}{3} \int_L y^3 \cdot dx \quad (d)$$

Momen chúi tàu 1 m.

$$M_{TRIM} = I_L / L \quad (e)$$

Tích phân trong mặt sườn thứ $i, i = 1, 2, \dots, NS$

Diện tích phần chìm:

$$S(z) = 2 \int_0^z y \cdot dz \quad (f)$$

Momen tĩnh so với đáy:

$$M_B(z) = 2 \int_0^z y \cdot z \cdot dz \quad (g1)$$

Momen tĩnh so với mặt giữa tàu:

$$M_O(z) = 2 \int_0^z x \cdot y \cdot dz \quad (g2)$$

Tích phân theo thể tích phần chìm từ 0 đến Z:

Thể tích phần chìm:

$$V(z) = \int_0^z A_W(z) dz \quad (h)$$

Chiều cao tâm nổi:

$$KB(z) = \frac{\int_0^z A_W(z) \cdot z \cdot dz}{V(z)} \quad (i)$$

Hoành độ tâm nổi:

$$LCB(z) = \frac{\int_0^z Aw(z).a(z).dz}{V(z)} \quad (k)$$

Bán kính tâm nghiêng ngang:

$$BM = I_t / V \quad (l)$$

Bán kính tâm nghiêng dọc:

$$BM_L = I_L / V \quad (m)$$

Các hệ số đầy:

$$C_W = A_W(z) / L.B \quad (n)$$

$$C_M = S_O(z) / T.B \quad (p)$$

$$C_B = V / L.B.T \quad (q)$$

$$C_P = C_B / C_M \quad (r)$$

$$C_V = C_B / C_W$$

Như đã chuẩn bị tại phần đầu chương này, các phương pháp tích phân số được sử dụng để thực hiện các phép tính trong sơ đồ.

Theo cách làm vừa nêu, các phép tích phân thực hiện trong mỗi đường nước thuộc dạng sau:

$$I = \int_A^B f(x)dx,$$

Trong đó A vị trí đuôi tàu thuộc đường nước, đo tại mặt đối xứng dọc giữa tàu, B là vị trí lô mũi tàu, đo tại đường nước tính toán, trong mặt đối xứng dọc. Vị trí của A và B thay đổi từ đường nước tới đường nước trên các tàu thông dụng.

Các phép tính thực hiện tại mỗi sườn tàu thuộc dạng:

$$I(z) = \int_0^z f(z)dz, \text{ trong đó } z \text{ biến miêu tả chiều chìm, tính đến đường nước. Tích phân dạng}$$

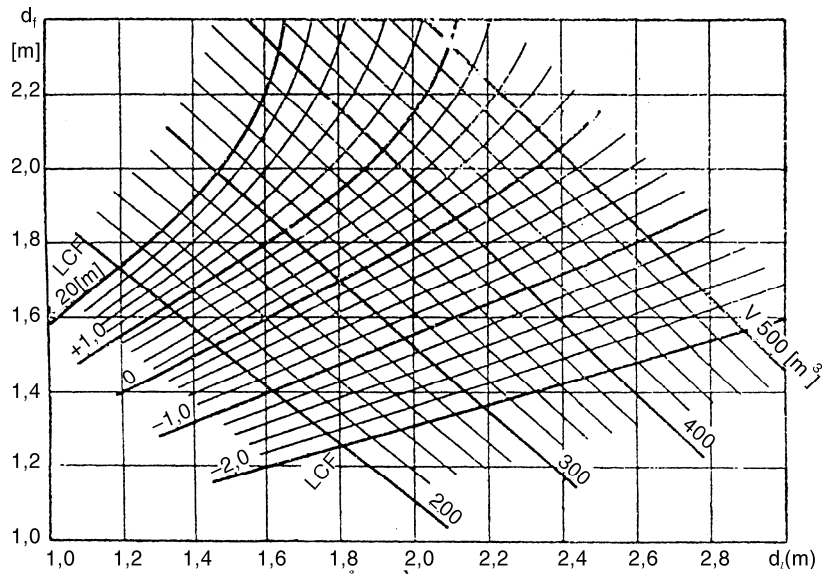
này cần thực hiện theo chương trình. Một trong những hàm viết bằng ngôn ngữ C, giải tích phân dạng vừa nêu được trình bày tại phần đầu chương.

2.1.5 Biểu đồ mang tên Firsov

Tên gọi này chỉ thịnh hành tại đất nước đã sinh ra nhà khoa học tàu thủy đáng nể này. Trong sách báo của nước ta tên gọi biểu đồ Firsov được công nhận một cách chính thức, giống như được gọi ở Nga vậy. Tên gọi này không mấy khi xuất hiện trên sách chuyên môn các nước ngoài Nga. Biểu đồ Firsov giúp cho người đọc tìm được thể tích phần chìm hoặc lượng chiếm nước, tọa độ tâm nổi phần chìm cho các trạng thái nghiêng dọc tàu. Nói theo cách dễ hiểu hơn, khi đọc được chiều chìm tàu tại mũi và lái của tàu, người đọc sử dụng biểu đồ Firsov để tìm giá trị thực của lượng chiếm nước D, cao độ tâm nổi $\overline{KB}$ và hoành độ tâm nổi XB của tàu trong trạng thái ấy.

Biểu đồ Firsov trình bày quan hệ giữa thể tích phần chìm hoặc lượng chiếm nước, tọa độ tâm nổi phần chìm cho các trạng thái nghiêng dọc tàu. Khi đọc được chiều chìm tàu tại mũi và lái của tàu, từ biểu đồ Firsov tìm giá trị thực của lượng chiếm nước D, cao độ tâm nổi $\overline{KB}$ và hoành độ tâm nổi LCB của tàu trong trạng thái ấy.

3) Sử dụng biểu đồ Bonjean tính thể tích phần chìm và tọa độ tâm nổi theo các công thức:



Hình 2.13 Biểu đồ Firsov tàu vận tải

$$V = \int_0^L a(x) dx$$
$$M_b = \int_0^L m(x) dx$$
$$M_{\otimes} = \int_{-L/2}^{+L/2} x a(x) dx$$
$$KB = \frac{M_b}{V} = \frac{\int_0^L m(x) dx}{\int_0^L a(x) dx}$$

61

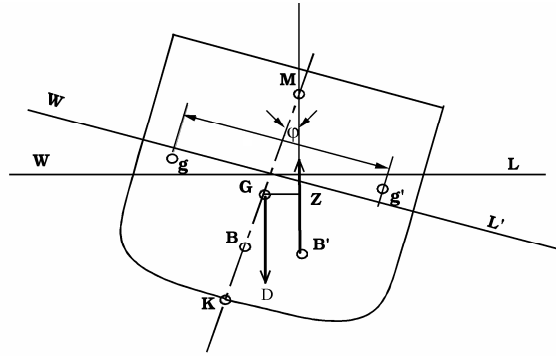
$$LCB = \frac{M_{\infty}}{V} = \frac{\int_{-L/2}^{+L/2} x \cdot a(x) dx}{\int_0^L a(x) dx}$$

2.2 ỔN ĐỊNH TÀU

Công việc liên quan tính toán ổn định tàu bao gồm:

- Tính các đại lượng đặc trưng ổn định ban đầu.
- Tính họ đường cross curves (pantokaren).
- Xác lập đồ thị ổn định tĩnh, ổn định động.
- Kiểm tra tính ổn định tàu theo tiêu chuẩn ổn định.

2.2.1 Ổn định ban đầu



Hình 2.14 Ổn định ban đầu

Tàu nghiêng ở góc nhỏ, khoảng cách $\overline{BB'}$ xác định như sau:

$$\overline{BB'} = \frac{v \times h}{\nabla}$$

trong đó v – thể tích nêm tam giác; ∇ – thể tích phần chìm thân tàu.

Momen phục hồi:

$$M_{ph} = \Delta \times \overline{GZ}$$

trong đó $\overline{GZ}$ – đoạn thẳng nối từ trọng tâm tàu G đến đường tác động lực nổi tại thời điểm xem xét, qua điểm B' .

$$\overline{GZ} = \overline{GM} \sin \varphi$$

$\overline{GM}$ là chiều cao tâm nghiêng, M – tâm nghiêng.

$\overline{GZ}$ gọi là tay đòn ổn định.

Bán kính nghiêng ngang: $\overline{BM}_T = \frac{I_T}{V}$

Bán kính nghiêng dọc: $\overline{BM}_L = \frac{I_L'}{V}$

Chiều cao của điểm M so với mặt chuẩn qua đáy:

$$\overline{KM} = \overline{KB} + \overline{BM} \text{ hoặc } KM = KB + BM$$

Chiều cao tâm nghiêng ngang ban đầu:

$$\overline{GM} = \overline{KM} - \overline{KG} \text{ hoặc } GM = KB + BM - KG$$

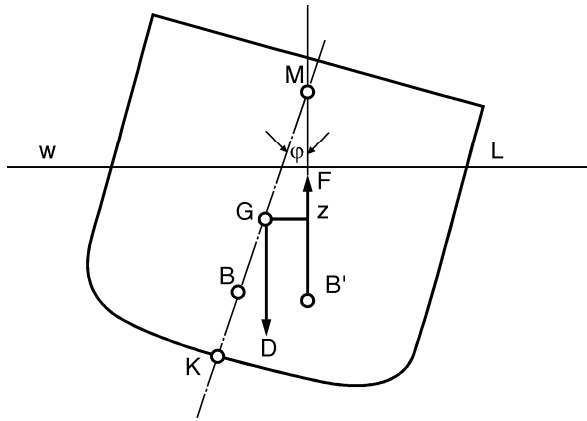
trong đó KG - chiều cao trọng tâm so với mặt chuẩn qua đáy tàu.

Tâm nổi B di chuyển trên cung gần cung tròn, bán kính $r = \overline{BM}$, tâm tại M .

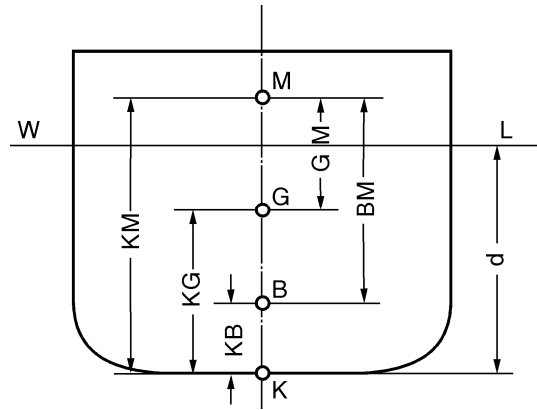
$$\overline{GM} = \overline{KB} + \overline{BM} - \overline{KG} = \overline{BM} - (\overline{KG} - \overline{KB}) = r - a$$

trong đó $a = \overline{KG} - \overline{KB}$.

$$GZ = (r - a) \sin \varphi = r \sin \varphi - a \sin \varphi$$



Hình 2.15 Tay đòn ổn định tàu GZ và chiều cao tâm nghiêng GM



Hình 2.16

2.2.2 Ổn định tại góc nghiêng lớn

Từ đồ thị miêu tả quỹ đạo tâm ổn định M và tâm nổi B trong quá trình tàu nghiêng có thể thấy rõ, tàu nghiêng đến góc đủ lớn, khoảng từ $10 - 15^\circ$ trở lên, tâm M không còn nằm trên trục đối xứng, còn B di chuyển không phải trên cung gần tròn như ban đầu mà theo đường cong không thành luật. Độ tăng tay đòn momen ngẫu lực giữa lực nổi và trọng lực không còn tuyến tính với góc nghiêng mà sang hẳn giai đoạn phi tuyến. Tại các góc nghiêng lớn bán kính ổn định theo nghĩa là khoảng cách theo chiều đứng giữa $B'M'$, trong đó B' , M' là vị trí nhất thời ứng với góc nghiêng đang xét, tính theo tỉ lệ giữa momen quán tính đường nước nghiêng và thể tích phần chìm tàu.

$$BM = I_\varphi / \nabla$$

Toạ độ tâm nổi B dời đến vị trí mới:

$$Y = \int_0^\varphi BM(\varphi) \cos \varphi d\varphi$$

$$Z = \int_0^\varphi BM(\varphi) \sin \varphi d\varphi$$

Khoảng cách GM_φ khi tàu nghiêng tính theo công thức đã trình bày tại phần trên:

$$GM_\varphi = \frac{d}{d\varphi} GZ = -Y \sin \varphi + (Z - KB) \cos \varphi - a \cdot \cos \varphi$$

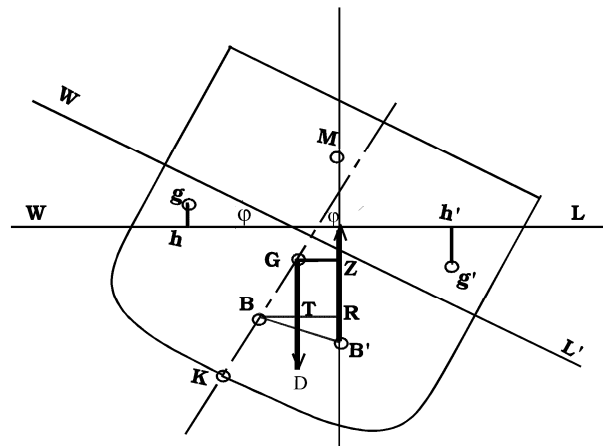
Momen ổn định tĩnh: $\Delta \times \overline{GZ} = \Delta \times (\overline{BR} - \overline{BT})$

Từ quan hệ: $\mathbf{v} \times \overline{hh'} = \nabla \times \overline{BR}$ có thể tính:

$$\overline{BR} = \frac{\mathbf{v} \times \overline{hh'}}{\nabla}; \quad \overline{BT} = \overline{BG} \sin \varphi$$

Momen ổn định tĩnh tính theo công thức:

$$M = \Delta \left(\frac{\mathbf{v} \times \overline{hh'}}{\nabla} - \overline{BG} \sin \varphi \right)$$



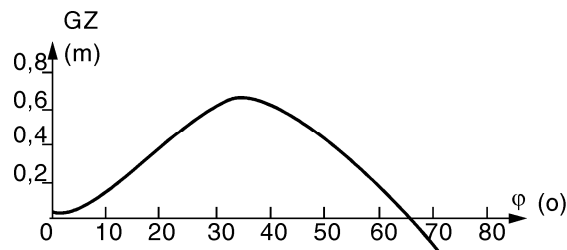
Hình 2.17 Xác định tay đòn ổn định tại góc nghiêng lớn

Công thức tính tay đòn ổn định:

$$\overline{GZ} = \overline{BR} - \overline{BT} = \overline{BR} - \overline{BG} \sin \varphi$$

Họ đường $\overline{BR} = f(\nabla, \varphi)$ gọi chung là *cross curves* hoặc *pantokaren*.

Đồ thị tay đòn ổn định tĩnh $GZ = f(\varphi)$ có dạng:



Hình 2.18 Tay đòn ổn định tĩnh $GZ = f(\varphi)$

Momen phục hồi là tích số của lượng chiếm nước D với tay đòn GZ:

$$M_{ph} = D \cdot GZ$$

2.2.3 Đồ thị ổn định

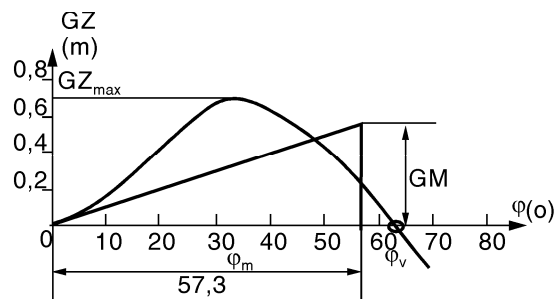
Đồ thị ổn định được hiểu là đường momen ngẫu lực phụ thuộc vào góc nghiêng tàu. Momen này là tích số của tay đòn GZ , biến thiên theo góc nghiêng tàu và lượng chiếm nước, có giá trị không đổi cho một trạng thái khai thác. Do vậy, đồ thị tay đòn $GZ = f(\varphi)$ cũng được coi là đồ thị ổn định. Trong các phần tiếp theo của tài liệu khái niệm đồ thị ổn định được dùng cho cả hai đồ thị vừa nêu.

Momen ngẫu lực vừa nêu được gọi là momen phục hồi.

Mỗi đồ thị ổn định có thể thấy rõ ba đoạn. Đoạn đầu, phụ thuộc vào chiều cao tâm ổn định ban đầu, $\overline{GM}$ với giá trị dương, đồ thị sẽ tăng trưởng nhanh hoặc chậm tùy thuộc vào độ lớn $\overline{GM}$. Miền tăng trưởng kết thúc tại vị trí cực trị $GZ_{\max}$ ứng với góc φ_m . Trong đoạn tiếp theo đường cong vẫn mang giá trị dương song theo xu hướng giảm dần. Giai đoạn này kết thúc tại góc lặn φ_v , tại đây GZ trở lại giá trị 0. Đoạn tiếp theo $GZ < 0$.

Trên đồ thị ổn định có thể biểu diễn độ dốc đường ổn định dưới dạng tiếp tuyến với đồ thị ổn định, xuất phát của tiếp tuyến từ gốc tọa độ. Chiều cao tâm ổn định ban đầu đọc trên đường tiếp tuyến tại vị trí $\varphi = 57,3$

Giá trị lớn nhất tay đòn ổn định $GZ_{\max}$. Góc ứng với tay đòn lớn nhất φ_m . Góc lặn φ_v



Hình 2.19 Tay đòn ổn định tĩnh

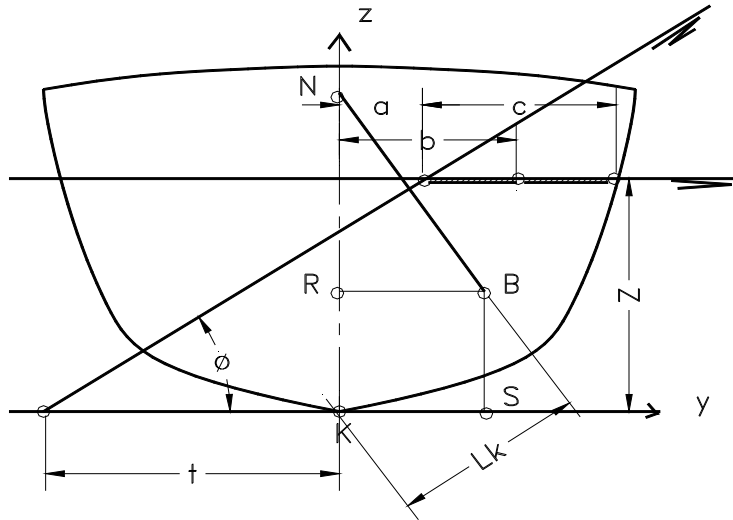
2.3 THUẬT TOÁN XÁC LẬP HỌ ĐƯỜNG CROSS CURVES (PANTOKAREN)

Để xác định tọa độ tâm nổi B' cho góc nghiêng bất kỳ, xét trong hệ tọa độ chung toàn tàu, tiến hành cách rời rạc hóa bài toán theo các bước sau.

1/ Phân chia toàn bộ chiều dài tàu thành những phân đoạn, có chiều dài phân đoạn ngắn hơn nhiều lần chiều dài tàu. Chiều dài các phân đoạn không nhất thiết bằng nhau. Mỗi phân đoạn rất ngắn kiểu này được coi như một khối trụ dài đúng bằng chiều dài phân đoạn, mặt cắt ngang của lăng trụ đúng như mặt cắt ngang giữa lăng trụ.

2/ Trong mỗi phân đoạn tiến hành tính thể tích phần chìm, tâm nổi phần chìm so với đáy, so với mặt ngang chuẩn, cụ thể so với mặt cắt ngang giữa tàu.

Thuật toán tính thể tích và momen tĩnh lăng trụ.



Hình 2.20

Tại mỗi mặt sườn tiến hành kẻ nhiều đường nước nghiêng dưới góc ϕ so với mặt đáy, cắt sườn tàu. Tại mỗi chiều chìm Z , tính trên trục OZ , kẻ đường nước song song với mặt thoáng nước tĩnh. Xác định các giá trị hỗ trợ a, b, c theo công thức:

$$a = \frac{z}{\tan \phi} - t \quad (a)$$

$$b = \frac{1}{2}(y + a) \quad (b)$$

$$c = y - a \quad (c)$$

trong đó: y - nửa chiều rộng tàu, đo tại mớn nước z , tại sườn đang xét; t - khoảng cách từ giao điểm mặt đường nước nghiêng tại đáy đến mặt cắt dọc giữa tàu.

Diện tích mặt sườn, phần nằm dưới đường nước nghiêng:

$$A(x) = \int_0^T \alpha(z) dz \quad (d)$$

Momen tĩnh so với mặt đáy:

$$M_B(x) = \int_0^T \alpha(z) \cdot z dz \quad (e)$$

Momen tĩnh so với mặt cắt ngang giữa tàu:

$$M_C(x) = \int_0^T \alpha(z) \cdot b(z) dz \quad (f)$$

3- Tính thể tích phần chìm tàu và tọa độ tâm nổi của phần chìm tàu, nằm dưới một đường nước nghiêng, khi đã xác định $A(x)$, $M_B(x)$, $M_C(x)$.

Thể tích phần chìm:

$$V = \int_L A(x) dx; \quad \overline{RB} = \frac{\int_L M_C(x) dx}{\int_L A(x) dx}; \quad \overline{SB} = \frac{\int_L M_B(x) dx}{\int_L A(x) dx} \quad (g)$$

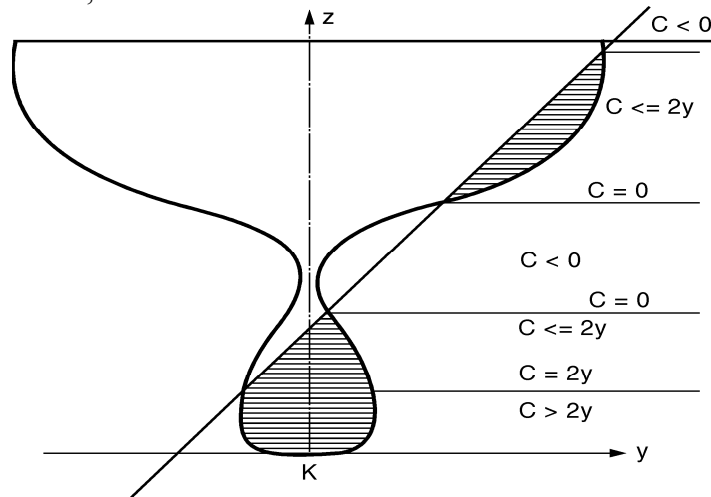
Tay đòn hình dáng L_k , hình 2.20 tính theo công thức:

$$L_k = \overline{KN} \sin \phi = \overline{SB} \sin \phi + \overline{RB} \cos \phi \quad (h)$$

Mọi giá trị $c(z)$ đo trên bản vẽ phải là những giá trị thật, có nghĩa $c(z) \geq 0$. Những trường hợp thường gặp khi đọc $c(z)$ và cách hiệu chỉnh như sau:

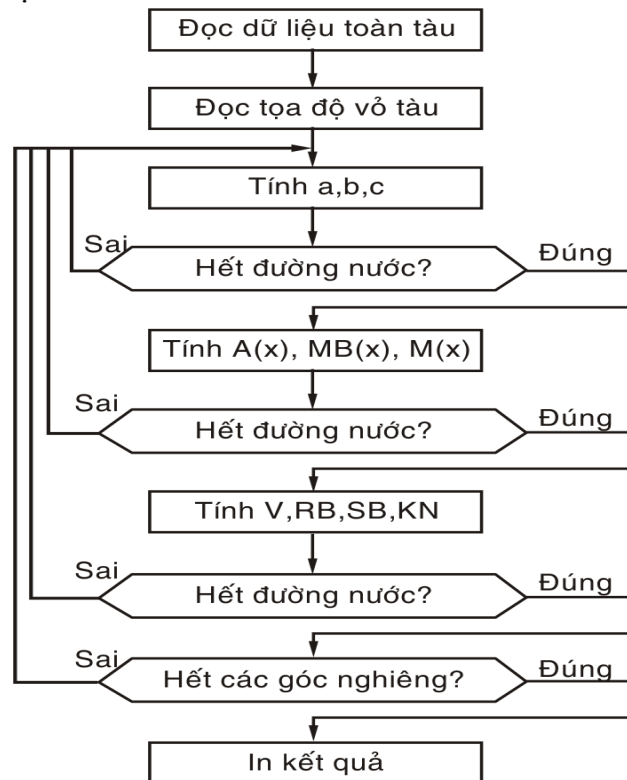
Nếu $c \geq 2y$ giá trị thật của $c = 2y$; $b = 0$

Nếu $c \leq 0$ thì: $c = 0$ và $b = 0$;



Hình 2.21 Những trường hợp thường gặp khi xác định c

Sơ đồ tính được giới thiệu tại hình 2.22.



Hình 2.22

Xây dựng họ đường cross curves tàu nhiều thân

Họ đường cross curves $L_K = f(V, \varphi)$ lập cho trường hợp V_i , $i = 1, 2, \dots$ với góc nghiêng φ (hoặc còn ký hiệu $\square$) thay đổi từ 0 đến góc bất kỳ, ví dụ đến 90° .

Tại mỗi mặt sườn tiến hành kẻ nhiều đường nước nghiêng dưới góc Φ so với mặt đáy, cắt sườn tàu. Tại mỗi chiều chìm Z , tính trên trục OZ , kẻ đường nước song song với mặt thoáng nước tĩnh. Xác định các a, b, c theo công thức trình bày tại (a), (b), (c) cho tàu một thân.

Diện tích mặt sườn, phần nằm dưới đường nước nghiêng:

$$A(x) = \int_0^T \mathcal{A}(z) dz$$

$$M_B(x) = \int_0^T \mathcal{A}(z) \cdot z \cdot dz$$
$$Mc(x) = \int_0^T \mathcal{A}(z).b(z) dz$$

Tay đòn hình dáng L_K tính theo công thức:

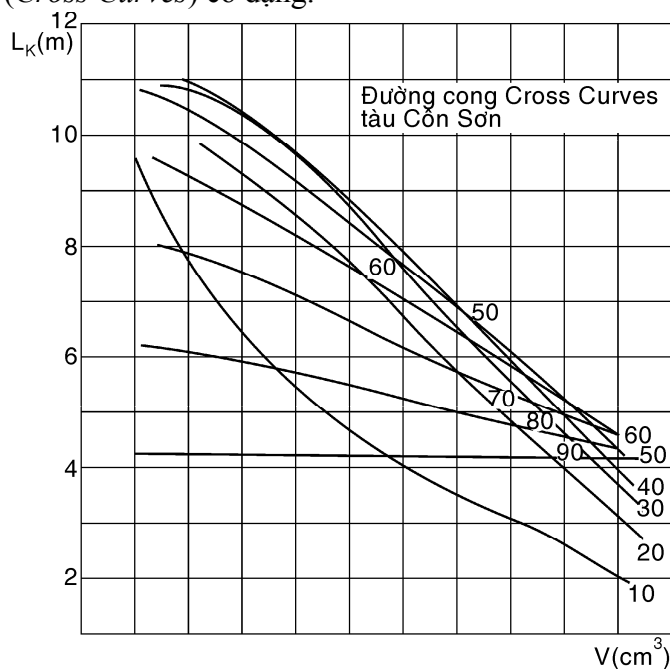
$$L_k = \overline{KN} \sin \phi = \overline{SB} \sin \phi + \overline{RB} \cos \phi$$

Phi	10.00		20.00		30.00
volume (m3)	lever (m)	volume (m3)	lever (m)	volume (m3)	lever (m)
225.207	0.492	238.849	0.807	243.231	1.070

	196.814	0.541	219.026	0.896	220.268	1.193
	165.752	0.561	195.195	0.989	192.002	1.342
	135.570	0.589	168.254	1.078	159.623	1.503
	106.524	0.627	139.006	1.155	124.880	1.655
	79.444	0.687	109.489	1.222	89.778	1.760
	54.515	0.775	82.233	1.306	57.490	1.833
	33.650	0.916	58.244	1.386	30.868	1.958
	16.712	1.016	37.892	1.477	12.127	2.211
	3.845	1.163	21.191	1.618	2.291	2.475
VN	272.135	0.322	256.417	0.716	224.447	1.171

	Phi	70.00		80.00		90.00
	volume	lever		lever		lever
	(m3)	(m)		(m)		(m)
	238.902	1.756	235.783	1.795	232.471	1.769
	216.962	1.815	212.260	1.824	208.762	1.763
	193.416	1.880	187.070	1.859	183.360	1.764
	168.553	1.950	160.436	1.902	156.440	1.775
	142.483	2.029	132.384	1.961	128.462	1.802
	115.358	2.123	103.897	2.036	101.062	1.835
	88.216	2.234	76.790	2.112	75.185	1.867
	62.260	2.335	51.201	2.180	50.825	1.903
	37.789	2.395	27.441	2.205	28.083	1.936
	16.913	2.361	7.630	2.132	8.362	2.022
VN	100.745	2.182	79.235	2.105	60.994	1.889

Đồ thị pantokaren (*Cross Curves*) có dạng.



Hình 2.24 Cross Curves (*Pantokaren*)

Dựng đồ thị ổn định trên cơ sở pantokaren

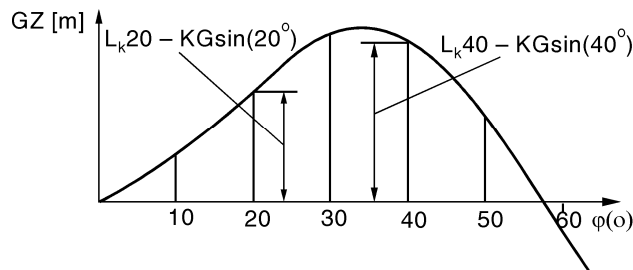
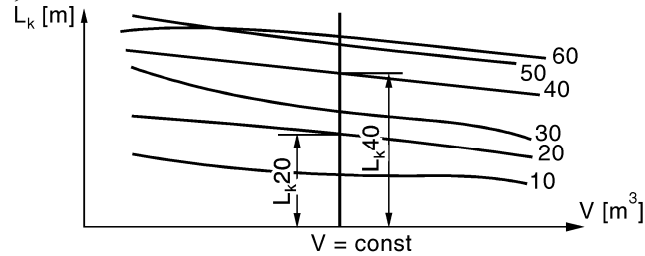
Đồ thị ổn định được dựng dưới dạng đường $GZ = f(\varphi)$; Momen ổn định dựng dưới dạng momen

phục hồi bằng tích số của $GZ(\varphi)$ với lượng chiếm nước $D = \text{const.}$

$$\overline{GZ} = L_k - \overline{KG} \sin \varphi$$

Uồng với mỗi trường hợp $V = D/\gamma = \text{const}$, từ đồ thị pantokaren dễ dàng đo được L_k , tính theo góc nghiêng, ví dụ $10^\circ, 20^\circ, 30^\circ, \dots$

Thay giá trị L_k vừa đo được vào biểu thức cuối cùng chúng ta xác lập được đây giá trị GZ_φ , tính cho $\varphi = 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ, \dots$



Hình 2.25 Xây dựng đồ thị ổn định tĩnh

2.4 GIỚI THIỆU CHƯƠNG TRÌNH TÍNH TÍNH NỔI TÀU

Qui ước đánh số sườn, đường nước.

- + Sườn #0 qua trụ lái, sườn thứ 10 (hoặc sườn 20) qua trụ mũi
- + WL 0 bắt đầu từ đường cơ bản, các WL tiếp theo lên cao dần.
- + Khoảng cách vòm lái, lấy giá trị + nếu nằm trước trụ lái

Chuẩn bị dữ liệu:

- + NS- tổng số sườn tính toán
- + NW- tổng số đường nước tính toán. Mặt boong tàu được coi là đường số NW+1
- + Số thứ tự các đường nước, số thực, ví dụ: 0, 0.5, 0.75, 1, 1.5, 2, vv...

Hình 2.32

- + Số thứ tự đường nước, số thực, ví dụ: 0, 0.5, 1, 1.5, 2 vv...
- + Chiều dài thật các đường nước vừa đăng ký
- + Tọa độ vòm đuôi, tính cho các đường nước vừa đăng ký, dấu theo H.4.
- + Chiều cao H, cho tất cả sườn tính toán.

+ Tọa độ vỏ tàu, lấy 1/2 chiều rộng tàu. Thứ tự đọc: bắt đầu từ sườn đầu tiên, ví dụ #0; trong mỗi sườn đọc giá trị y của đường nước đầu tiên, ví dụ WL0, đến đường nước cuối cùng là NW+1 (mép boong).

Sử dụng chương trình

Nhập dữ liệu

ten tau: tên gọi của tàu

Tong so suon: *số sườn tính toán*
 So duong nuoc: *số đường nước tính toán*
 Chieu dai Lpp: *chiều dài giữa hai trụ, m*
 Khoảng suon dL: *khoảng sườn lý thuyết, m*
 Khoang duong nuoc dT: *khoảng đường nước, m*
 Nhap so thu tu (số sườn) phai tinh: *nhập đủ số chỉ vị trí sườn. Các giá trị cách nhau khoảng trống.*
 Nhap chieu cao (số sườn): *toàn bộ chiều cao của các sườn. Các giá trị cách nhau khoảng trống.*
 Nhap so thu tu (số đường nước): *số thứ tự của WL, từ dưới lên boong*
 Chieu dai that (số đường nước): *giá trị chiều dài thật các đường nước, m. Các giá trị cách nhau khoảng trống.*
 Khoang cach vom lai den truc sau (số đường nước): *Khoảng cách cùng giá trị (+), (-) như hình 4 trên.*
 Toa do vo tau: *Tọa độ vỏ tàu (½ **chiều rộng**), nhập theo hướng dẫn ghi tại màn hình đối thoại.*
 Toa do diem vao nuoc: *Tọa độ điểm để nước tràn vào tàu, giá trị y và z, đo bằng m*

Ghi chú: Điểm chọn có thể như hình bên cạnh hoặc tại mép boong.

Các file chứa dữ liệu:

H.DAT - dữ liệu đầu vào, nhập từ bàn phím. Gọi và sửa bằng trình EDIT của DOS.
 H.OUT - dữ liệu đầu ra
 STAB.OUT - Bảng tính bằng số tay đòn ổn định tĩnh và ổn định động, tính bằng <m>, cách nhau 10° một lần tính. Giá trị trong bảng tương ứng đồ thị được hiện trên màn hình.
 Các file sau đây chứa giá trị trung gian
 FIRSOV.OUT - biểu đồ Firsov
 CROSS.dat - giá trị pantokaren
 BON.dat giá trị biểu đồ Bonjean dùng khi vẽ đồ thị.

Giá trị tính toán và ký hiệu trên các đồ thị có nghĩa như sau:

KB- chiều cao tâm nổi
 BM- bán kính ổn tâm
 GM - chiều cao tâm ổn định

Tay đòn trong đồ thị pantokaren được xác định như trên hình bên. Lk là khoảng cách từ K đến đường vuông góc với đường nước nghiêng, đi qua tâm nổi phân chìm - điểm B'.

Chương trình viết bằng ngôn ngữ C.

Dưới đây sẽ trình bày nội dung chương trình tính bằng ngôn ngữ C.

1/ IntegrationV() - tính tích phân có giới hạn trên thay đổi $I(z) = \int f(z)dz$

2/ Integ() - tích phân giới hạn dưới từ a đến giới hạn trên b: $I = \int f(x)dx$

3/ Lag() - Nội suy (ngoại suy) Lagrange

- 4/ Inputfiles - ghi dữ liệu vào file H.dat
- 5/ Crossfiles - ghi dữ liệu trung gian vào file cross.dat
- 6/ FirsoffDiagram - ghi giá trị tính biểu đồ Firsov ra file firsoff.out
- 7/ BonjeanGr - biểu đồ Bonjean
- 8/ CrossCurveGr - đồ thị pantokaren
- 9/ StabilityCurvesGr - đồ thị ổn định tĩnh và động
- 10/ Stability - Ổn định tàu.

Trích đoạn chương trình bằng ngôn ngữ C có dạng như sau.

```

/* Program HydrostaticCurves; */
#include <stdio.h>
#include <conio.h>
#include <io.h>
#include <math.h>
#include <stdlib.h>
#include <ctype.h>
#include <time.h>
#include <graphics.h>
#define sqr(A) (A) * (A)

char ship[20];
int Nwplus1, Nw, Ns, Index, Midship ;
int MaxX, MaxY, MaxColors;
float Lpp, dt, dl, yfa, zfa, Cend, Afj, Haftl, Breadth, BxL, d;
float Phi, SinPhi, CosPhi, TangPhi, db, dz, an, bn, cn;
float yy[9][2];
float aux[100];
float **y, **sa, **sm;
float *WL, *Wa, *dis, *VOL, *xb, *KB, *BML, *CW, *CB, *CM, *CP;
float *ILc, *It, *BMt, *Af, *Low, *St, *H, *xl, *xa, *zz;
float *bb, *cc, *ff, *z, *Aw, *amm, *am, *displa, *trim;
FILE *inf, *outf, *cross, *bon ;

void StabilityCurvesGr()
{
char buffer[20];
int k, j;
int Nn,x0,y0,x1,y1,x2,y2,y01,y10,ErrorCode,graphdriver,GraphMode ;
int p0,KK ;
float vmax,lmax,c4, p,p3,p2,p03 ;
graphdriver = DETECT;
initgraph(&graphdriver, &GraphMode, "..\\BGI");
ErrorCode = graphresult();
if ( ErrorCode != 0 ) {
fprintf(stderr,"%s",grapherrormsg(ErrorCode));
exit(1);
}
MaxY = getmaxy();
MaxX = getmaxx();
MaxColors = getmaxcolor() + 1;
vmax =0; lmax =0;
for (j =1 ; j < 9; j++) {
if ( cc[j] > lmax) lmax = cc[j];
}

```

```

        if (CB[j] > vmax ) vmax = CB[j];
    }
    if (lmax < vmax ) lmax = vmax;
    c4= cc[3]; if (c4 < cc[2] ) c4= cc[2];
    if (c4 <= 0.0 ) c4 = lmax;
    KK= (int) (lmax/c4 +0.5);
    if (KK <= 1) KK=2;
    p2= c4/2.0;
    KK= (KK+1)*2;
    y0= MaxY -20;
    y1= y0 / KK;
    x0= MaxX-10;
    x1 = x0 / 12;
    cleardevice();
    settextstyle(0,0,1);
    for (j = 1 ;j <= KK+1;j++) {
        k= KK-2-j;
        p=(k*p2)*1000.0;
        sprintf(buffer,"%8.0f",p);
        outtextxy(0,j*y1,buffer);
        line(0,y1*j,x0,y1*j);
    }

    settextstyle(0,1,1);
    outtextxy(10,10,"Lst & Ld [mm]");
    for (j = 0 ; j <= 12;j++) {
        sprintf(buffer,"%2d", (j-3)*10 );
        p0=j*x1;
        outtextxy(p0, (KK-2)*y1, buffer);
        line(p0,0,p0,y0);
    }
    setlinestyle(SOLID_LINE,0,NORM_WIDTH);
    y01=(KK-2)*y1;
    p3 = (y0-y01)/c4;
    for (j=0 ; j <= 11; j++) {
        if (j < 3) {
            k= 3-j;
            p= -cc[k]; p03= CB[k]; vmax= -cc[k-1]; p2= CB[k-1];
        }
        else
        {
            k= j-3;
            p= cc[k]; p03= CB[k]; vmax= cc[k+1]; p2= CB[k+1];
        }
        y10= y01- (int) (p3*p);
        y2= y01- (int) (vmax*p3);
        if ( y10 < 0 ) y10 = 0;
        if ( y2 < 0 ) y2=0;
        if ( y10 > y0 ) y10=y0;
        if ( y2 > y0 ) y2=y0;
        line(j*x1,y10,(j+1)*x1,y2);
        y10= y01- (int) (p3*p03);
        y2= y01 - (int) (p3* p2);
        if ( y10 < 0 ) y10 = 0;
        if ( y2 < 0 ) y2=0;
        if ( y10 > y0 ) y10=y0;
        if ( y2 > y0 ) y2=y0;
        line(j*x1,y10,x1*(j+1),y2);
    }

```

```

        delay(100);
    }
    getch();
    closegraph();
}
void Stability()
{
    int n,km, i, j, k    ;
    int KK;
    printf("\nNumber of States N = "); scanf("%d", &n);
    CB = calloc( 10, sizeof( float ));
    Wa = calloc( n, sizeof( float ));
    dis = calloc( n, sizeof( float ));
    cc = calloc( 10, sizeof( float ));
    xb = calloc(10, sizeof( float ));
    xa = calloc(10, sizeof( float ));
    sa = dim2(9, 11); sm = dim2(9, 11);
    printf("\nNhap %d gia tri cua Vol: ", n);
    for (i =0 ; i < n ; i++) scanf("%f", &dis[i]);
    printf("\nNhap %d gia tri cua Zg: ",n);
    for (i =0; i < n; i++) scanf( "%f", &Wa[i]);
    for (km =0 ; km < 10; km++) xa[km]= km * 0.1745329;
    printf("\n\tO N      D I N H\n");

    cross = fopen("a:\\cross.dat", "r");
    fscanf(cross,"%s\n", ship);
    for (k=0 ; k < 9; k++) {
        for (j=0 ; j < 11; j++) fscanf(cross,"%f",&sa[k][j] );
/*      fscanf(cross,"\n"); */
        for (j=0 ;j < 11; j++) fscanf(cross,"%f", &sm[k][j] );
/*      fscanf(cross,"\n"); */
    }
    fclose(cross);
    for (i =0; i < n; i++) {
        bn = dis[i]; cn = Wa[i];
        xb[0]=0.0;
        for (k =1 ; k < 10; k++)
            if (bn> sa[k-1][0] ) xb[k] =sm[k-1][0];
        else
        {
            KK=-1; do {
                KK++;
            } while ( bn <= sa[k-1][KK] );
            db=(-sa[k-1][KK-1] +bn); dz =(- sm[k-1][KK]+sm[k-1][KK-1]);
            xb[k] = db*dz/( sa[k-1][KK-1]- sa[k-1][KK])+sm[k-1][KK-1];
        }
    }
    fprintf(stdout,"\n\tTRUONG HOP SO %d",i);
    fprintf(stdout,"\n\tv = %10.2f m3      Zg = %6.2f m",bn,cn );
    fprintf(stdout,"\n deg " );
    for (k=2 ; k <= 10; k++) fprintf(stdout,"%7d", (k-1)*10);
    fprintf(stdout,"\n Lk " );
    for (k =1 ; k < 10; k++) fprintf(stdout,"%7.2f", xb[k] );
    fprintf(stdout,"\n Lst " );
    cc[0]=0.0;
    for (k=1 ; k < 10; k++) {
        Phi=k*0.174533; SinPhi= sin(Phi);
        cc[k]= xb[k] - cn*SinPhi;
        fprintf(stdout,"%7.2f", cc[k]);
    }
}

```

```

    }
    integrationv(10,xa,cc,CB);
    fprintf(stdout,"\n Ld  " );
    for (k=1 ; k < 10; k++)          fprintf(stdout, "%7.2f", CB[k]);
    StabilityCurvesGr();
    free( dis); free( Wa ); free( xa ); free( CB ); free ( xb ); free( cc );
    free( *sa ); free( sa ); free( *sm); free( sm);
}
}

void main()
{
char ch, chose, ck = 'K';
register int i,j, k, m, n;
int KK, KP1, mcolor;
float t[11];
time_t loctime;
struct tm *currtime;
textcolor( WHITE );
textbackground( BLUE );
loctime = time (NULL );
currtime = localtime( &loctime);
clrscr();
gotoxy(45,1); printf( "%s\n", asctime( currtime ) );
textcolor( YELLOW );
/* textbackground( BLUE ); */
gotoxy(10,5);
printf("\n\tWelcome to Hydrostatic Curves\n");
printf("\n\tPrepared by Dr. Tran Cong Nghi, Nav. Arch.\n");
printf("\n\tCho biet Ten tau: "); scanf("%s", ship);
printf("\n\t\tt1 - NHAP DU LIEU TAU - LAN DAU \n");
printf("\n\t\tt2 - SU DUNG DU LIEU CO SAN\n");
textcolor(WHITE);
printf("\n\t\tChon <1> hoac <2> ==>:");
ch = getche();
ch = toupper(ch);
if ( ch == '1' ) {
printf("\n\tSo suon phai tinh Ns = "); scanf("%d", &Ns);
printf("\n\tSo duong nuoc WL = "); scanf("%d", &Nw);
location();
printf("\n\tLpp, dL, dT ==>: "); scanf("%f%f%f", &Lpp, &dL, &dT);
printf("\n\tNHAP SO TT %d SUON PHAI TINH\n", Ns);
for (k=0; k < Ns ;k++) scanf("%f", &St[k]);
printf("\n\tNHAP CHIEU CAO %d SUON\n", Ns);
for (k=0 ; k < Ns; k++) scanf("%f", &H[k]);
printf("\n\tNHAP SO TT %d DUONG NUOC\n", Nw);
for (j=0; j < Nw; j++) scanf("%f", &WL[j]);
printf("\n\tCHIEU DAI THAT %d DUONG NUOC\n", Nw);
for (j=0; j < Nw ; j++) scanf("%f", &Low[j]);
printf("\n\tKHOANG CACH VOM LAI DEN TRU SAU %d DG NUOC\n", Nw);
for (j=0; j < Nw; j++) scanf("%f", &Af[j]);
textcolor( 3 );
clrscr();
gotoxy(10,1); printf("\n\t\tTOA DO VO TAU\n");
printf("\n\tBAT DAU DOC TU SUON %5.2f DEN SUON %5.2f ",St[0],St[Ns-1]);
printf("\nTai moi suon NHAP %d gia tri 0,5B tu day len\n",Nwplus1);
for (k=0 ; k < Ns; k++) {
printf("\nfor Section no %d = Sation St[%5.2f]\n", k, St[k]);

```

```

for (j=0; j < Nwplus1; j++) scanf("%f", &y[k][j] );
}
printf("\n\tGoc vao nuoc = Flood Angle ==>: "); scanf("%f %f", &yfa, &zfa);
Inputfiles();
}
if ( ch == '2' ) {
inf= fopen("a:\\H.dat", "r");
fscanf(inf,"%s", ship);
fscanf(inf,"%d%d", &Ns, &Nw);
location();
fscanf(inf, "%f%f%f\n", &Lpp, &dt, &dl);
for (k=0; k < Ns; k++) fscanf(inf,"%f", &St[k]); fscanf(inf, "\n");
for (k=0; k < Ns; k++) fscanf(inf,"%f", &H[k] ); fscanf(inf, "\n");
for (j =0 ; j < Nw; j++) fscanf(inf,"%f", &WL[j] ); fscanf(inf, "\n");
for (j=0 ; j < Nw; j++) fscanf(inf,"%f", &Low[j] ); fscanf(inf, "\n");
for ( j=0 ; j < Nw; j++) fscanf(inf,"%f", &Af[j]); fscanf(inf, "\n");
for (k=0; k < Ns; k++) {
for (j = 0 ; j < Nw + 1; j++) fscanf(inf,"%f", &y[k][j] );
fscanf(inf, "\n");
}
fscanf(inf,"%f%f", &yfa, &zfa);
fclose(inf);
} /* if ch ==2 */
textcolor( YELLOW );
clrscr();
gotoxy(5,20);
printf("\n\tDu lieu da co san. Co tinh Khong <C/K> ?");
ck = getche();
if ( toupper( ck ) == 'C' ) {
Haftl=Lpp/2.0;
Midship =(Ns+1) / 2;
for (k= 0 ; k < Ns; k++) xl[k]=dl*St[k]-Haftl;
for (j=0 ; j < Nw; j++) z[j]=WL[j]*dt ;
for (j=0; j < Nw; j++){
Afj = Af[j];
Cend=Afj-Haftl;
k=0;
do {
k++; }
}
}
results();

bon = fopen("a:\\bon.dat", "w");
fprintf(bon,"%s\n",ship);
for (k=0 ; k< Ns; k++) {
for (j=0 ; j < Nwplus1; j++)
fprintf(bon,"%9.2f",sa[k][j]); fprintf(bon,"\n");
for (j=0;j< Nwplus1; j++)
fprintf(bon,"%9.2f", sm[k][j]); fprintf(bon,"\n");
}
fclose(bon);
free( *sa); free(sa); free(*sm); free(sm);
printf("\n\t\tTINH C R O S S C U R V E S\n" );
sa = dim2(9,11); sm = dim2(9,11);

clrscr();
chose = ' ';

```

```

    while ( chose != 'E' )    {
printf("\n\n\t\tB - Ve duong Bonjean\n");
printf("\n\t\tC - Ve Cross Curves\n");
printf("\n\t\tS - Ve cac duong on dinh tinh va dong\n");
printf("\n\t\tE - Exit --> Thoat khoi chuong trinh\n");
printf("\n\n\n\t\tChon <B>, <C>, <S> <E> ==>:  ");
chose = getche();
chose = toupper( chose );
switch ( chose ) {
case 'B':printf("\n Ve duong Bonjean");
        BonjeanGr(); break;
case 'C':printf("\n Ve Cross Curves");
        CrossCurvesGr(); break;
case 'S':printf("\nTinh on dinh");
        Stability(); break;
case 'E':printf("\nGood bye\n");
        exit( 0 );
        }
        }
        free(St), free(H); free(Low); free(z); free(xl);
        free(WL); free(Af); free(*y); free(y);
}

```

Chương 3

SỨC CẢN VỎ TÀU

3.1 SỨC CẢN VỎ TÀU

Chuyển động trên mặt nước, trong nước, bề mặt vỏ tàu phải tiếp xúc với môi trường bao quanh nó: mặt ướt vỏ tàu tiếp xúc với nước, phần trên mớn nước tiếp xúc với không khí, và bề mặt này chịu tác động của các lực do môi trường gây ra. Chịu tác động ảnh hưởng qua lại này trên bề mặt vỏ tàu xuất hiện phân bố lực bề mặt. Giả sử vec tơ lực bề mặt tại mỗi điểm của bề mặt là $\vec{p}_n$, lực bề mặt trên diện tích dA được xác định là $\vec{p}_n \cdot dA$. Khi coi vec tơ $\vec{p}_n$ gồm hai hành phần, trong đó thành phần tác động vuông góc với diện tích dA được coi như áp lực pháp tuyến, ký hiệu $\bar{p}$ và thành phần thứ hai tác động tiếp tuyến với dA , ký hiệu $\vec{\tau}$, công thức tính lực thủy động tác động lên phần tử vỏ tàu có dạng: $\vec{p}_n \cdot dA = \bar{p} dA + \vec{\tau} \cdot dA$.

Các thành phần trên được tính bằng đường thí nghiệm hoặc bằng lý thuyết dựa vào các định luật vật lý cổ điển Newton và công thức Bernoulli.

Trường hợp tính lực tác động lên vỏ tàu thông dụng, miêu tả trong toạ độ 0xyz, với 0x dọc tàu, hướng về mũi tàu, trùng hướng tiến của tàu, sức cản vỏ tàu, ký hiệu R được hiểu như sau:

$$R = R_x = \int_A [\bar{p} \cdot \cos(p, x) + \vec{\tau} \cos(\vec{\tau}, x)] dA \quad (3.1)$$

Từ công thức (3.1) có thể thấy, trong thành phần của R có lực cản phụ thuộc vào áp suất p gọi là sức cản áp suất (*pressure resistance*) và lực cản phụ thuộc vào τ , gọi là sức cản ma sát (*friction resistance*). Mỗi thành phần chính trên đây được coi là tập hợp của những thành phần nhất định. Trong sức cản áp suất sức cản tạo sóng với tàu chạy nhanh là thành phần chủ yếu, còn với tàu chạy chậm tham gia vào đây chủ yếu lại là sức cản do tính chất nhớt của nước. Sức cản vì đã tạo sóng của tàu có thể coi là sức cản tạo sóng do phần thân tàu, do phần mũi tàu và do phần chìm của đuôi tàu dạng transom trong nước tạo sóng.

Trong thành phần sức cản ma sát của vỏ tàu có thể nhìn nhận các thành phần: ma sát vỏ tàu trên nước lặng và lực ma sát bổ sung trong quá trình khai thác.

Tập hợp các thành phần trên chúng ta có thể đánh giá sức cản dưới cách nhìn khác, rằng đây là tập hợp của sức cản nhớt R_v và sức cản tạo sóng R_w .

Trong thành phần sức cản nhớt, theo quan niệm mới từ những năm cuối thế kỷ XX, R_v gồm sức cản ma sát R_f như chúng ta đã đề cập và sức cản hình dáng R_p . Trong thực tế thành phần R_f phụ thuộc vào chất lượng bề mặt còn sức cản sóng R_w và sức cản được ký hiệu R_p như vừa nhắc phụ thuộc vào hình dáng của thân tàu, và có thể coi tập hợp của R_w và R_p là sức cản dư R_r , để từ đó có thể tính $R = R_f + R_r$.

Theo thuyết độc lập các thành phần sức cản, sự tạo sóng của tàu chạy không ảnh hưởng và không phụ thuộc vào sức cản nhớt. Có thể xét rằng sức cản trong quá trình tạo sóng là hiện tượng vật lý sinh ra trong môi trường nước lý tưởng, chịu chi phối của lực hút trái đất. Trong thành phần

của sức cản nhớt, sức cản ma sát, sức cản hình dáng phụ thuộc hoàn toàn vào tính chất của chất lỏng, ngoài ra sức cản R_p phụ thuộc vào hình dáng vật thể. Nói cách khác sức cản ma sát phụ thuộc vào chiều dài và các tính chất của lớp biên.

Các thành phần sức cản

Tổng hợp các thành phần sức cản vỏ tàu giới thiệu tại bảng A.

Bảng A Các thành phần sức cản

Sức cản toàn bộ R_T			
Sức cản vỏ tàu			R bổ sung
Sức cản nhớt R_V		Sức cản sóng R_W	
Sức cản ma sát R_f	Sức cản hình dáng R_P *)	Sức cản sóng R_W	
Sức cản ma sát R_f	Sức cản dư R_r		

Sơ đồ trên đây được lập trên cơ sở giả thuyết về sự độc lập của các thành phần tạo nên sức cản toàn bộ. Theo thuyết này sự tạo sóng của tàu chạy không ảnh hưởng và không phụ thuộc vào sức cản nhớt. Có thể xét rằng sức cản trong quá trình tạo sóng là hiện tượng vật lý sinh ra trong môi trường nước lý tưởng, chịu chi phối của lực hút trái đất. Trong thành phần của sức cản nhớt sức cản ma sát, sức cản hình dáng phụ thuộc hoàn toàn vào tính chất của chất lỏng, ngoài ra sức cản R_p phụ thuộc vào hình dáng vật thể.

Sức cản ma sát

Thành phần này của sức cản chiếm tỷ lệ lớn trong sức cản toàn bộ. Với các tàu chạy chậm sức cản ma sát chiếm 80 ÷ 85%, còn với tàu chạy nhanh tỷ lệ này cũng giữ đến 50% sức cản toàn bộ. Những công trình nghiên cứu sức cản tàu đầu tiên cũng bắt đầu từ sức cản ma sát.

Công thức mang tính lịch sử của Froude khi đổi sang hệ metre được viết như sau:

$$R = f \cdot \gamma \cdot S \cdot V^n, \text{ với } n = 1,825. \quad (3.2)$$

Trong công thức (3.2) R tính bằng (kG), γ - trọng lượng riêng của nước tính bằng (kG/dm^3), S tính bằng (m^2), và V tính bằng (m/s).

Hệ số k dùng cho mô hình tàu và tàu thật độ nhám trung bình được giới thiệu tại bảng (a) và (b) tương ứng.

Bảng : 3.1 a. Hệ số k dùng cho mô hình tàu.

Chiều dài mô hình (m)	Hệ số f	Chiều dài mô hình (m)	Hệ số f	Chiều dài mô hình (m)	Hệ số f
0,5	0,2280	3,5	0,1817	6,5	0,1671
1,0	0,2132	4,0	0,1782	7,0	0,1658
1,5	0,2033	4,5	0,1757	7,5	0,1645
2,0	0,1960	5,0	0,1727	8,0	0,1634

*) Thành phần này còn có tên gọi sức cản xoáy - *eddy resistance*

2,5	0,1903	5,5	0,1706	8,5	0,1624
3,0	0,1856	6,0	0,1687	9,0	0,1615

Bảng : 3.1b. Hệ số k dùng cho tàu thật.

Chiều dài tàu (m)	Hệ số f	Chiều dài tàu (m)	Hệ số f	Chiều dài tàu (m)	Hệ số f
10	0,1590	80	0,1430	170	0,1399
15	0,1537	90	0,1426	180	0,1396
20	0,1508	100	0,1422	190	0,1394
25	0,1488	110	0,1418	200	0,1391
30	0,1474	120	0,1415	220	0,1386
40	0,1457	130	0,1412	240	0,1381
50	0,1446	150	0,1405	280	0,1372
60	0,1439	150	0,1405	280	0,1372
70	0,1434	160	0,1402	300	0,1367

Công thức tính hệ số f của Froude đã được chính thức hoá trong hệ thống metre như sau, theo kết luận của hội nghị ITTC 1935:

$$f = 0,1392 + \frac{0,258}{2,68 + L} \quad (3.3)$$

Công thức do Schoenherr đề xuất năm 1932, được ATTC (American Towing Tank Conference) chấp nhận từ năm 1947:

$$\frac{0,242}{\sqrt{C_F}} = \log_{10}(Rn \cdot C_F) \quad (3.4)$$

Công thức Prandtl và Schlichting :

$$C_F = \frac{0,455}{(\log_{10} Rn)^{2,58}} \quad (3.5)$$

Công thức Hughes:

$$C_F = \frac{0,066}{(-2,03 + \log_{10} Rn)^{1/5}} \quad (3.6)$$

Năm 1957 hội nghị quốc tế ITTC (*International Towing Tank Conference*) tại Madrid chấp nhận công thức “chế biến” từ kết quả thử mô hình các loạt mô hình tàu nhằm mục đích giúp tính sức cản ma sát vỏ tàu dựa vào kết quả thử mô hình. Hội nghị ghi nhận rõ rằng đây chỉ là giải pháp tạm thời “only an interim solution to this problem for practical engineering purposes”. Công thức tính hệ số cản ITTC-57 không nhằm xác định C_F cho tấm phẳng tương đương như các công thức trên mà dùng cho việc tính chuyển ngay khi thử mô hình tàu hoặc tính sức cản ma sát cho tàu thật, có dạng:

$$C_F = \frac{0,075}{(\log_{10} Rn - 2)^2} \quad (3.7)$$

Các công thức áp dụng cho dòng rối thích hợp với số Reynolds từ 10^7 trở lên.

Tính sức cản, công suất hữu hiệu theo phương pháp ITTC 1978

Hội nghị ITTC năm 1978 *Performance Committee* đề xuất cách tiếp cận *form-factor approach* trong xác định công suất hữu hiệu từ kết quả thí nghiệm. Hệ số sức cản toàn bộ của mô hình C_{Tm} chia làm hai thành phần, C_{Vm} và C_{Wm} , đề cập sức cản nhớt mô hình và sức cản do tạo sóng. Tại vận tốc Fn nhỏ, thành phần C_{Wm} quá bé, C_{Tm} gần như song song với đường hệ số sức cản ma sát $2D$. Giá trị C_{Tm} tại điểm này coi như bằng C_{Vm} cùng điểm của Rn_0 .

Hệ số sức cản hình dáng trong những trường hợp này có thể xác định:

$$1 + k = \frac{C_{Tm}(Rn_0)}{C_{F0}(Rn_0)} \quad (3.8)$$

Hệ số sức cản nhớt mô hình trong 3D biểu diễn bằng biểu thức:

$$C_{Vm} = (1 + k) C_{F0} \quad (3.9)$$

trong đó C_{F0} – công thức ITTC-1957.

$$\frac{C_{Tm}}{C_{F0}} = (1 + k) + \alpha \frac{(Fn)^n}{C_{F0}}$$

với $4 \leq n \leq 6$, α - nhận từ phân tích kết quả thử.

Hội nghị ITTC lần thứ 15 khuyến cáo chia sức cản tàu làm hai thành phần R_V và R_W .

$$C_T = C_{V0}(Rn) + C_{W0}(Fn) = (1 + k) C_{F0} + C_{W0} \quad (3.10)$$

Sức cản sóng

Áp suất trong quá trình tạo sóng :

$$p_w = p - p_c = \rho V \frac{\partial \varphi}{\partial x} \quad (3.11)$$

Sức cản sóng toàn tàu tính theo công thức:

$$R_W = -\rho V \int_S \frac{\partial \varphi}{\partial x} \cos(n, x) dS \quad (3.12)$$

Nếu thay $\cos(n, x) \approx -\partial f / \partial x$ vào biểu thức tại vế phải của công thức cuối, công thức tính sức cản sóng có dạng:

$$R_W = -\rho V \int_S \frac{\partial \varphi}{\partial x} \cos(n, x) dS \cong 2\rho V \int_{-T-L/2}^{0+L/2} \int \frac{\partial \varphi}{\partial x} \cdot \frac{\partial f}{\partial x} dx \cdot dz \quad (3.13)$$

Sức cản dư

Bản thân sức cản dư là tập hợp của các thành phần sức cản sóng và sức cản xoáy, trong đó tỷ lệ sức cản sóng rất lớn. Hệ số sức cản dư được tính như sau:

$$Cr = \frac{R_r}{\frac{1}{2} \rho V^2 \cdot S} = \frac{(R_w + R_p)}{\frac{1}{2} \rho V^2 \cdot S} \quad (3.14)$$

3.2 CÔNG SUẤT HỮU HIỆU

Khái niệm công suất hữu hiệu được hiểu là tích số của sức cản vỏ tàu với vận tốc tàu.

Công thức chính thức tính EHP dùng trong hệ thống đo Imperial Anh-Mỹ mang dạng :

$$EHP = \frac{R[lb]V[ft/s]}{550[ft-lb/s/hp]} \quad (3.15)$$

Trong công thức này sức ngựa được hiểu là 550 $lb.ft/s$ hay là 1HP = 76 $kG.m/s$.

Trong hệ mét công thức trên đây được viết như sau:

$$EHP = \frac{R[kG]V[m/s]}{75[kG.m/s/HP]} \quad (3.16)$$

Trong công thức (3.16) sức ngựa theo hệ mét tính bằng 1HP = 75 $kG.m/s$.

Trong nhiều trường hợp để dễ phân biệt EHP tính trong hệ thống Anh-Mỹ và trong hệ mét, có thể thay ký hiệu này bằng EPS để dùng trong hệ mét. Bản thân PS viết tắt từ đồng nghĩa với HP trong tiếng Đức là *Pferdestärke*, được ngầm hiểu là sức ngựa của thể giới còn lại, ngoài Anh và Mỹ. Công thức cuối được thay bằng biểu thức mang dạng sau:

$$EPS = \frac{R[kG]V[m/s]}{75[kG.m/s/PS]} \quad (3.17)$$

Ngày nay công thức tính EHP nên ghi ở dạng:

$$EHP = R_T V [W]$$

trong đó R_T – sức cản toàn bộ, tính bằng N , V – vận tốc tính bằng m/s

Hoán đổi đơn vị từ sức ngựa sang kW như sau:

1HP (thuộc hệ thống đo UK) $\times 0,746 = 1kW$

1HP (thuộc hệ thống đo metric) $\times 0,735 = 1kW$

3.3 CÁC PHƯƠNG PHÁP KINH NGHIỆM TÍNH SỨC CẢN VỎ TÀU

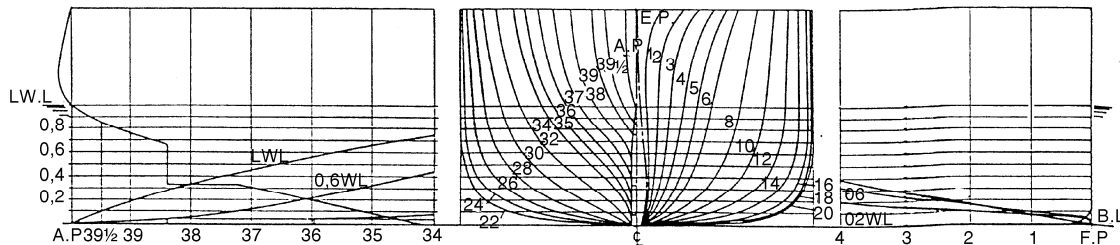
Ngày nay đang song song tồn tại các phương pháp tính sức cản khác nhau. Có thể phân loại các phương pháp tính sức cản theo sơ đồ sau.

3.3.1. Phương pháp truyền thống dựa trên cơ sở xử lý dữ liệu thống kê

Phương pháp Taylor (1910-1943)

Phạm vi dùng: tàu chạy chậm và trung bình, vận tốc từ $v/\sqrt{L} = 0,3 \div 2$.

Loạt mô hình thí nghiệm gồm 80 chiếc, tỷ lệ B/T nằm trong giới hạn 2,25; 3 và 3,75. Hệ số lăng trụ từ 0,48 đến 0,8.

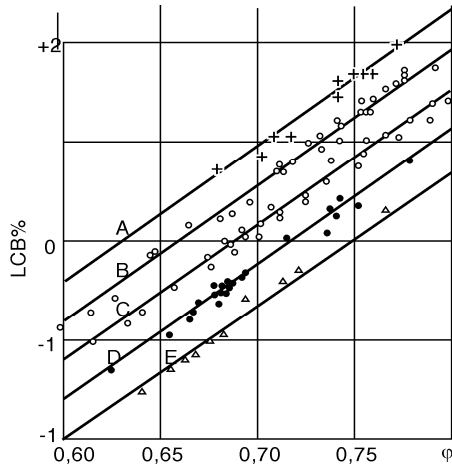


Hình 3.1

Sử dụng đồ thị Taylor xác định sức cản dư. Hệ số sức cản toàn bộ C_T bằng tổng của C_F và C_R , tính cho mỗi vận tốc tương đối $v/\sqrt{L}$ (Corresponding speed).

$$EHP = SC_T V_s^3 \quad (3.18)$$

Phương pháp Lap (1955)



Hình 3.2 Vị trí tâm nổi cho các nhóm A,B,C,D,E...

$$\text{Hệ số } C_r: C_r = \frac{R_r}{\frac{1}{2} \rho \cdot v^2 \cdot A_M} \quad (3.19)$$

với A_M - diện tích sườn giữa tàu.

Hệ số sức cản dư được thiết lập cho năm nhóm tàu ký hiệu A, B, C, D, E khác nhau bằng vị trí tâm nổi, là hàm của B/T và vận tốc tàu tính bằng $v_s / \sqrt{C_P L}$. Vị trí tâm nổi chuẩn cho tàu, theo cách sắp xếp của Lap, được trình bày tại hình 4.32.

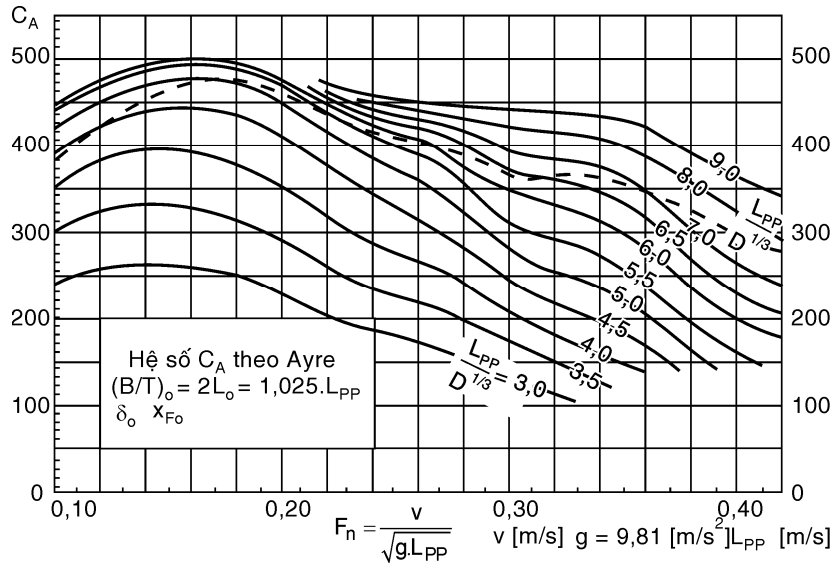
Các đồ thị được xây dựng cho mẫu tàu với tỷ lệ $B/T = 2,4$. Trong sử dụng phạm vi này có thể thay đổi từ $2,2 \div 2,6$.

Phương pháp Ayre

$$\text{Công suất hữu hiệu } EHP: EHP = \frac{\Delta^{0,64} v_s^3}{C_2} \quad (3.20)$$

trong đó C_2 là hệ số cần xác định, áp dụng cho mỗi giá trị C_B chuẩn.

Các hiệu chỉnh theo tỷ lệ B/T , LCB , vv... được thực hiện cho mỗi giá trị C_B .



Hình 3.3

Mỗi phương pháp chỉ có một phạm vi sử dụng nhất định và chỉ đúng cho những trường hợp chuẩn. Hiện chưa có một phương pháp thực tế mang tính đa năng để áp dụng cho các kiểu tàu.

Phương pháp tính sức cản tàu sông

Hiện nay tồn tại nhiều cách tính sức cản tàu sông thuộc nhóm tàu dạng sà lan (barge type) và tàu dạng thông dụng. Nhiều phương pháp tính giành cho tàu dạng sà lan tuy đã lỗi thời song thích hợp với một số kiểu tàu nhất định. Những phương pháp đó có tên gọi, phương pháp Riehn - Dietz của Deutschland, phương pháp tính của Viện thiết kế tàu Leningrad (thời Liên xô).

Phương pháp Riehn - Dietz

Phương pháp hoàn chỉnh từ năm 1890, dùng vào việc tính sức cản sà lan, tàu dạng sà lan, tàu kéo chạy sông, tàu khách chạy bằng bánh quay (guồng) đặt bên mạn tàu. Ngày nay phương pháp này giúp cho việc tính toán tham khảo và trong nhiều trường hợp tính toán cho dạng tàu đặc biệt, “hoài cổ” của đội tàu du lịch.

Sức cản tàu gồm sức cản ma sát và sức cản dư, tính bằng công thức:

$$R = R_f + R_r = R_f + (a k_d B T) \quad (3.21)$$

Hệ số k_d phụ thuộc vào tỷ lệ L/B và hệ số đầy đường nước C_W ; Hệ số a là hàm của vận tốc tàu.

Công thức tính của Viện thiết kế tàu sông Leningrad

Công thức phù hợp cho tàu sông kiểu cũ, dạng sà lan hoặc dạng thông thường song hệ số đầy thể tích lớn. Công thức cho phép tính sức cản toàn bộ của vỏ tàu.

$$R = 0,17 WS v^{1,825} + 1,45(24 - L/B) C_B^{5/2} (\Delta/L^2) v^4 \quad (3.22)$$

trong đó lượng chiếm nước Δ đo bằng $[T]$, diện tích bề mặt tiếp nước WS bằng $[m^2]$, vận tốc tàu đo bằng $[m/s]$.

Sức cản toàn bộ tàu vỏ thép, kiểu tự chạy có thể tính theo công thức do kỹ sư người Nga Zvonkov đề ra cùng thời với công thức vừa nêu.

$$R = f WS v^{1,825} + C_B \xi A_M v^{(1,7+4Fn)} \quad (3.23)$$

trong đó:

$$\xi = \frac{17,7 m C_B^{5/2}}{(L/6.B)^3 + 2} \quad (3.24)$$

$m = 1$ dùng cho tàu có chân vịt thông thường, $m = 1,2$ dùng cho tàu với chân vịt trong hầm dẫn tại vòm đuôi.

Sức cản toàn bộ tàu vỏ thép, kiểu tự chạy có thể tính theo công thức do kỹ sư người Nga Zvonkov đề ra cùng thời với công thức vừa nêu.

$$R = f WS v^{1,825} + C_B \xi A_M v^{(1,7+4Fn)}, \quad (3.25)$$

trong đó :

$$\xi = \frac{17,7 m C_B^{5/2}}{\left(\frac{L}{6.B}\right)^3 + 2}; \quad m = 1,0 \text{ dùng cho tàu có chân vịt thông thường, } m = 1,2 \text{ dùng cho tàu với}$$

chân vịt trong hầm dẫn tại vòm đuôi.

Sức cản tàu cỡ nhỏ, chạy nhanh

Tàu nhỏ, chạy nhanh được đề cập trong phần này có chiều dài toàn bộ dưới $30 \div 40\text{m}$, khai thác với vận tốc đến $Fn \approx 2$. Đặc tính hình học thân tàu loại tàu này được hạn chế trong phạm vi : $C_B = 0,30 \div 0,60$; $C_P = 0,50 \div 0,75$;

$$\frac{L}{\sqrt[3]{\nabla}} = 3,5 \div 8,5; \quad \frac{L}{B} = 3,0 \div 6,0; \quad \frac{B}{T} = 1,5 \div 3,5.$$

Bảng kê dưới đây nêu rõ tên tác giả và phạm vi ứng dụng của phương pháp. Đồ thị và dẫn giải cách dùng được đề cập đầy đủ trong tài liệu đã dẫn.

Bảng 3.6

Tên tác giả	L [m]	CB	CP	$\frac{L}{\sqrt[3]{\nabla}}$	L/B	B/T	Fn
Kafali	9 -30	0,325-0,45	-	3,8-4,8	-	1,7-3,0	0,12- 0,46
Henschke	6-40	-	-	5 -8	-	-	0,25- 1,1
de Groot	-	0,29 - 0,56	0,46 - 0,79	5,2- 9	3,53 - 10,1	3,57	FnV :2,7
Buller	-	-	-	6,0 - 8,5	-	-	0,4 - 0,9
Savitzky							
Brawn		0,29 - 0,54		4,8 - 6,8	3,5 - 7,4	3,1 - 4,4	FnV :2,6
Nodstrem		0,373-0,41	0,576-0,599	5 - 8	4,83-6,94	3,16-3,57	FnV :2,7
SSPA		0,4	0,68	6,7,8		3,0 - 4,0	FnV :2,0
NPL		0,397	0,693	5 - 9	3,3 - 7,5	1,72 - 6,87	FnV :2,8

3.3.2. Các phương pháp tính sức cản dựa trên cơ sở phân tích hồi qui

Phương pháp tính thông dụng trong toán tính có tên gọi “phép hồi qui” tạm dịch từ tiếng Pháp *regression* được các nhà đóng tàu sử dụng với mức tối đa khi nghiên cứu sức cản tàu thông dụng. Trong các bài của Scott từ những năm bảy mươi đã trình bày kết quả đo thực tế về sức cản tàu một chân vịt và hai chân vịt dưới dạng công thức hồi qui ^{*)}. Sử dụng phép tính thống kê này có kết quả còn kể đến Holtrop trong các tài liệu bàn về trang bị động lực cho loạt tàu cao tốc. Từ kết quả thử nghiệm của 334 cuộc thí nghiệm mô hình Holtrop tổng kết về dạng ^{**) :}

$$R_T = R_F(1+k_I) + R_{APP} + R_W + R_B + R_{TR} + R_A \quad (3.26)$$

Trong công thức này, R_F tính theo khuyến cáo ghi trong công thức ITTC-57, hệ số ảnh hưởng của vỏ tàu được tổng kết cũng trên cơ sở thống kê.

$$(1+k_I) = 0,93 + 0,487118(1+0,011C_I)x(B/L)^{1,06806} (T/L)^{0,46106} \\ x(L_{WL}/L_R)^{0,121563} (L_{WL}^3/\nabla)^{0,36486} x(1-C_P)^{-0,604247} \quad (3.27)$$

Chiều dài mang ký hiệu L_R được hiểu là:

$$L_R = L_{WL} \left(1 - C_P + \frac{0,06C_P \cdot LCB}{4C_P - 1} \right) \quad (3.28)$$

^{*)} Scott I. R. “A method of predicting trial performance of single screw merchant ships”, Trans RINA, 1975,

^{**) :} Holtrop, J.A “A statical re-analysis of resistance and propulsion data”, ISP, 1988

Hệ số C_1 đề cập ảnh hưởng vòm lái, theo Holtrop = -10 dùng cho sườn tàu V, +10 cho sườn chữ U, = 0 cho sườn thông thường.

Sức cản bổ sung tính hơi dài dòng :

$$R_{APP} = \frac{1}{2} \rho V_s^2 C_F (1 + k_2)_{id} \sum S_{APP} + R_{BT} \quad (3.29)$$

công thức tính $(1+k_2)_{id}$ có dạng:

$$(1 + k_2)_{id} = \frac{\sum (1 + k_2) S_{APP}}{\sum S_{APP}} \quad (3.30)$$

Nếu tàu có trang bị chân vịt lái (thruster) nằm phía mũi, sức cản R_{BT} mới được tính:

$$R = \pi \rho V_s^2 \cdot d_T C_{BT} \quad \text{với } d_T - \text{đường kính hàm chân vịt mũi, } C_{BT} = (0,003 \div 0,012).$$

Thành phần sức cản sóng cũng tính theo phép hồi qui.

$$R_W = K_1 K_2 K_3 \nabla \rho g \cdot \exp[K_4 F^{K_6} + K_5 \cos(K_7/Fn^2)] \quad (3.31)$$

Các hệ số trong công thức cuối được tác giả trình bày đầy đủ trong tài liệu vừa nêu (1988).

Phương pháp tổng nhỏ nhất các bình phương được sử dụng phổ biến trong xác định các hằng số các công thức hồi qui. Kết quả nghiên cứu sức cản được đưa thẳng vào chương trình thiết kế nhằm mô phỏng sức cản tàu trong các chế độ khai thác và tiếp đó xác định công suất cần thiết của máy quay chân vịt, tạo lực đẩy đủ thắng sức cản ấy.

Một trong những ví dụ thực hiện tự động hóa tính sức cản vỏ tàu của seri BSRA (của UK) được tiến hành như sau ***).

Hệ số sức cản tàu dài tiêu chuẩn 400 ft tính theo phương thức cổ điển trong hệ thống đo Anh-Mỹ, nguyên dạng được định nghĩa:

$$C_{R,400} = \textcircled{C} \pm a, \quad (3.32)$$

trong đó a - hiệu chỉnh theo chiều dài tàu.

$$a = sfc \textcircled{S} = sfc \frac{WS}{\nabla^{2/3}} \quad (3.33)$$

$$\textcircled{C} = 427,1 \frac{EHP}{\Delta^{2/3} \cdot V_s^3} \text{ hoặc } \textcircled{C} = 2938 \frac{R_T}{\Delta^{2/3} \cdot V_s^2} \quad (3.34)$$

trong đó R_T tính bằng [lb], L bằng [ft], V_s bằng [HL/h], và Δ tính bằng long ton (1T = 1016kG).

Khi biết $C_{R,400}$ có thể tính sức cản toàn bộ hoặc công suất đẩy tàu theo công thức:

$$R_T = [\textcircled{C} \pm a] \cdot \frac{\Delta^{2/3} \cdot V_s^2}{2938}, \text{ hoặc}$$

$$EHP = [\textcircled{C} \pm a] \frac{\Delta^{2/3} \cdot V_s^3}{427,1} \quad (3.35)$$

***) Sabit A.S. "Regression analysis of the resistance results of the BSRA series", ISP, Vol 18, 1971

Hệ số *sfc* đọc theo bảng.

Bảng 3.7

L [ft]	$V_S/\sqrt{L}$						
	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6
100	0,0150	0,0141	0,0134	0,0129	0,0125	0,0121	0,0119
200	0,0069	0,0065	0,0062	0,0059	0,0058	0,0056	0,0055
300	0,0029	0,0027	0,0026	0,0025	0,0024	0,0023	0,0023
400	-	-	-	-	-	-	-
500	-0,0013	-0,0012	-0,0012	-0,0011	-0,0011	-0,0010	-0,0010
600	-0,0041	-0,0039	-0,0037	-0,0036	-0,0034	-0,0034	-0,0033
700	-0,0058	-0,0054	-0,0051	-0,0049	-0,0048	-0,0047	-0,0046
800	-0,0070	-0,0066	-0,0063	-0,0060	-0,0059	-0,0057	-0,0056
900	-0,0082	-0,0077	-0,0073	-0,0070	-0,0068	-0,0066	-0,0065
1000	-0,0091	-0,0086	-0,0081	-0,0078	-0,0076	-0,0074	-0,0072

Hệ số $C_{R,400}$ xây dựng cho se-ri tàu BSRA có dạng:

$$C_{400} = a_0 + a_1 \cdot \lambda + a_2 \cdot \beta + a_3 \cdot \delta + a_4 \cdot \xi + a_5 \cdot \lambda^2 + a_6 \cdot \beta^2 + a_7 \cdot \delta^2 + a_8 \cdot \xi^2 + a_9 \cdot \lambda \cdot \beta + a_{10} \cdot \lambda \cdot \delta + a_{11} \cdot \lambda \cdot \xi + a_{12} \cdot \beta \cdot \delta + a_{13} \cdot \beta \cdot \xi + a_{14} \cdot \delta \cdot \xi + a_{15} \xi \cdot \delta^2 \quad (3.36)$$

trong đó các ký hiệu mang ý nghĩa sau :

$$\lambda = \frac{L}{\sqrt[3]{\Delta}}; \quad \beta = \frac{B}{T}; \quad \delta = C_B; \quad \xi = LCB(\%); \quad (3.37)$$

Để giảm bớt sai số khi tính các phép biến đổi, đưa các hệ số về dạng chuẩn, thay đổi trong giới hạn từ -1 đến +1 sẽ thực hiện theo thứ tự:

$$x_0 = 1; \quad x_1 = \frac{\lambda - 5,296}{1,064}; \quad x_2 = \frac{10 \cdot \left(\frac{B}{T} - 3,025 \right)}{9,05}$$

$$x_3 = \frac{1000 \cdot (C_B - 0,725)}{75}; \quad x_4 = \frac{(LCB - 0,77)}{2,77}; \quad x_5 = x_1^2;$$

$$x_6 = x_2^2; \quad x_7 = x_3^2; \quad x_8 = x_4^2;$$

$$x_9 = x_1 \cdot x_2; \quad x_{10} = x_1 \cdot x_4; \quad x_{11} = x_1 \cdot x_5;$$

$$x_{12} = x_3 \cdot x_4; \quad x_{13} = x_2 \cdot x_4; \quad x_{14} = x_3 \cdot x_4;$$

$$x_{15} = x_4 \cdot x_3^2;$$

Thay vì C_{400} , cần tính hệ số trung gian :

$$Y_{400} = \sum_{i=0}^{15} a_i \cdot x_i \quad (3.38)$$

Quan hệ giữa Y_{400} và C_{400} như sau:

$$Y_{400} = \frac{C_{400} - 13,1035}{5,1635} \quad (3.39)$$

Các hệ số a_j , $j=0,1,2,\dots,15$ được xác định cho dãy giá trị của vận tốc tương đối $\frac{V_s}{\sqrt{L}}$, từ 0,5 đến 0,8. Ví dụ, hệ số a_j , $j = 0, 1, 2, \dots, 15$ tính cho trường hợp vận tốc tương đối từ 0,5 đến 0,8 như sau.

Bảng 3.8

	$V/\sqrt{L}$						
	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8
a_0	-0,7550	-0,7612	-0,7336	-0,6836	-0,5760	-0,3290	-0,0384
a_1	0,2107	0,223	0,2399	0,2765	0,3164	0,3562	0,4550
a_2	0,0872	0,0911	0,0964	0,0995	0,1108	0,1134	0,0664
a_3	0,0900	0,0768	0,0701	0,0856	0,1563	0,4449	1,0124
a_4	0,0116	0,0345	0,0210	0,0496	0,2020	0,3557	0,2985
a_5	0,0883	0,0842	0,0939	0,1270	0,1790	0,1272	0,0930
a_6	0,0081	0,-154	0,0177	0,0175	0,0170	0,0066	0,0118
a_7	0,0631	0,0644	0,0656	0,0957	0,1193	0,1415	0,5080
a_8	0,0429	0,0650	0,1062	0,1463	0,1706	0,1238	0,2203
a_9	-0,0249	-0,0187	-0,0270	-0,0502	-0,0699	-0,0051	-0,0514
a_{10}	-0,0124	0,0292	0,0647	0,1629	0,3574	0,2882	0,2110
a_{11}	0,0236	-0,0245	-0,0776	-0,1313	-0,3034	-0,2508	0,0486
a_{12}	-0,0301	-0,0442	-0,0537	-0,0863	-0,0944	-0,0115	-0,0046
a_{13}	0,0877	0,1124	0,1151	0,1133	0,0839	-0,0156	-0,1433
a_{14}	-0,1243	-0,1341	-0,0775	0,0355	0,1715	0,2569	0,2680
a_{15}	-0,0269	-0,0006	0,1145	0,2255	0,2006	0,0138	0,2283

Phạm vi ứng dụng của phương pháp:

$$\frac{L}{\Delta^{1/3}} = 4,232 \div 6,36; \quad \frac{B}{T} = 2,12 \div 3,96; \quad C_B = 0,65 \div 0,8; \quad LCB = -2\% \div +3,54\%$$

Ví dụ tính sức cản tàu cá.

Trong những năm năm mươi tại bể thử số 1 thuộc NPL (thuộc UK) tiến hành xử lý kết quả thử mô hình tàu đánh cá lưới kéo kiểu cũ. Số lượng mô hình được thử từ giữa những năm ba mươi đến giữa những năm năm mươi gồm 130 chiếc. Tàu được thử thuộc dạng tàu đánh cá bằng lưới kéo, tiếng Anh viết là trawler. Tác giả người Anh D.J. Doust được giao nhiệm vụ xác lập hệ số sức cản cho tàu dài tiêu chuẩn 200ft (qui thành 61m). Tham số trong hàm gồm tỷ lệ L/B , B/T , hệ số đầy mặt

giữa tàu C_M , hệ số đầy CP, tâm nổi phần chìm LCB tính bằng %, và góc kết cấu mũi của đường nước. Hệ số $C_{R,200ft}$ tính như sau ^{*)}.

$$\begin{aligned}
 C_{R200} = & a_0 + a_1.\beta + a_2.\beta^2 + a_3.\xi + a_4.\xi^2 + a_5.CP + a_6.CP^2 + a_7.\lambda + \\
 & + a_8.\lambda^2 + a_9.CM + a_{10}.\varepsilon + a_{11}.\varepsilon^2 + a_{12}.CP.\xi + a_{13}.CP.\xi^2 + a_{14}.CP^2.\xi + \\
 & + a_{15}.CP^2.\xi^2 + a_{16}.CP.\varepsilon + a_{17}.CP.\varepsilon^2 + a_{18}.CP^2.\varepsilon + a_{19}.CP^2.\xi^2 + a_{20}.CP^2.\lambda + \\
 & + a_{19}.CP.\lambda^2 + a_{21}.CP^2.\lambda + a_{22}.CP^2.\lambda + a_{23}.CP^2.\lambda^2 + a_{24}.\lambda.\varepsilon + \\
 & + a_{25}.\lambda.\varepsilon^2 + a_{26}.\lambda^2.\varepsilon + a_{27}.\lambda^2.\varepsilon^2 + a_{28}.CP.\beta + a_{29}.CP.\beta^2
 \end{aligned} \quad (3.40)$$

Phạm vi ứng dụng của phương pháp:

$$\frac{L}{B} = 4,4 \div 5,8; \quad \frac{B}{T} = 2,0 \div 2,6; \quad C_p = 0,60 \div 0,68; \quad LCB = 0\% \div +3,54\%. \quad aft$$

$$C_M = 0,81 \div 0,9; \quad \varepsilon = 10^\circ \div 30^\circ$$

Bảng 3.9

	V/ $\sqrt{L}$			
	0,8	0,9	1,0	1,1
a_0	-0,6641	-0,5496	-0,1053	0,1783
a_1	0,1273	0,0901	0,1795	0,3259
a_2	0,0652	0,0328	0,1752	0,3883
a_3	0,0584	-0,0263	-0,2771	-0,2881
a_4	-0,0857	-0,1009	-0,1268	0,1321
a_5	-0,0113	0,1011	0,5299	0,4943
a_6	0,0405	0,0641	0,1988	0,4091
a_7	0,1973	0,2120	0,3129	0,1280
a_8	0,0152	-0,0140	-0,1068	-0,2769
a_9	-0,0701	-0,1118	-0,1873	-0,0040
a_{10}	0,1402	0,1933	0,3603	0,5311
a_{11}	0,0702	0,1329	0,3203	0,5239
a_{12}	0,1363	0,0232	-0,1599	-0,4904
a_{13}	-0,2305	-0,2643	0,5207	0,0608
a_{14}	-0,1762	-0,3374	-0,4600	0,1516
a_{15}	0,4469	0,7199	1,4720	-0,3782
a_{16}	-0,1416	-0,2178	-0,6562	-0,8533
a_{17}	-0,1003	-0,0851	-0,3545	0,1506
a_{18}	0,2584	0,0601	0,1542	-0,4252
a_{19}	0,1767	-0,0220	-0,1283	0,1145

^{*)} Doust D.J., O'Brien "Resistance and propulsion of trawls", Trans. NECI, Vol 75, 1959

a_{20}	0,0385	0,0299	0,0506	-0,0930
a_{21}	-0,1886	-0,2085	-0,3192	-0,2343
a_{22}	-0,0261	-0,0843	-0,3110	-0,2299
a_{23}	-0,0318	-0,1187	-0,1835	-0,6057
a_{24}	0,1375	0,0655	0,0175	-0,0804
a_{25}	0,1304	-0,0010	-0,3088	-0,3055
a_{26}	0,1029	-0,0407	-0,6904	-0,8458
a_{27}	-0,0027	0,1408	0,0928	-0,2882
a_{28}	0,1700	0,0649	0,2781	0,0532
a_{29}	0,0975	-0,0015	0,1457	0,2367

Theo đơn đặt hàng của tổ chức nông lương quốc tế FAO, đợt tiếp theo Doust thực hiện phép hồi qui tính sức cản tàu cá dựa vào kết quả thử mô hình của 308 tàu. Hệ số sức cản của tàu C_{R16ft} tính cho tàu dài tiêu chuẩn 16 ft (4,86m), gồm 86 thành phần.

$$C_{R16} = \sum_{i=1}^{86} a_i \cdot X(L, B, H, C_B, \dots) \quad (3.41)$$

Các công thức tính chuyển từ hệ số sức cản cho tàu chiều dài tiêu chuẩn 200ft và 16ft sang sức cản tàu thật, độ dài khác độ dài tiêu chuẩn có thể thuộc dạng của Froude hoặc của ITTC-1957. Theo khuyến cáo của hội nghị ITTC-57, công thức tính chuyển $C_{R(L)}$ của tàu có chiều dài khác 16 ft, từ C_{R16} có dạng:

$$C_{R(L)} = C_{R16} - 0,212847 \left(\frac{WS \times L}{\Delta} \right) \left[\left(\log 88 \cdot \frac{V}{\sqrt{L}} \cdot 10^3 \right)^{-2} - \left(\log 1,2834 \cdot \frac{V}{\sqrt{L}} \cdot L^{3/2} \cdot 10^3 \right)^{-2} \right] \quad (3.42)$$

trong đó WS - diện tích mặt tiếp nước, đo bằng (ft²), L - chiều dài tàu, đo bằng (ft), và Δ - lượng chiếm nước tàu, đo bằng (T- long tone), vận tốc V đo bằng (HL/h).

Công thức Telfer tính hệ số sức cản toàn bộ, phụ thuộc vận tốc tương đối $V/\sqrt{L}$, áp dụng cho tàu tiêu chuẩn dài 200ft, tính chuyển bằng phép ngoại suy Froude.

$$C_T = \frac{R_T \cdot L}{\Delta V^2} \quad (3.43)$$

Với tàu có chiều dài không tiêu chuẩn công thức tính C_T (hoặc được ký hiệu cách khác C_R) tính theo công thức:

$$C_{R, \text{tàu thật}} = C_{R200} + \text{hiệu chỉnh}. \quad (3.44)$$

trong đó **hiệu chỉnh** tính bằng quan hệ $\frac{152,5 sfc}{\Delta_{L=200}^{1/3}}$.

Theo khuyến cáo của ITTC-57 hệ số *sfc* dùng trong trường hợp này có dạng:

$$sfc = \left(\frac{WS}{\nabla^{2/3}} \right) \left(\frac{L}{\nabla^{1/3}} \right)^{-0,175} \left(0,0196 + \frac{0,29L}{10^4} - \frac{2,77L^2}{10^6} + \frac{1,22L^3}{10^8} \right). \quad (3.45)$$

Áp dụng các công thức trên tính hệ số Telfer cho tàu cá có kích thước dưới đây:

$L = 180'$; $L/B = 5,4$; $B/T = 2,53$; $C_M = 0,909$; $C_P = 0,60$; $LCB = 4,31\%$; $\frac{1}{2} \varepsilon = 15^\circ$. Tính cho trường hợp $V/\sqrt{L} = 1,0$.

$C_{R,200ft} = 14,1$ theo công thức hồi qui.

$C_{R,180ft} = C_{R,200ft} + \text{hiệu chỉnh}$.

$$\text{hiệu chỉnh} = \frac{152,5 sfc}{\Delta_{L=200'}^{1/3}} = \frac{152,5}{\sqrt[3]{1719}} sfc$$

Sau khi tính $sfc = 0,012$, hiệu chỉnh sẽ là: $\frac{152,5 \times 0,012}{11,97} = 0,153$.

$C_{R,180ft} = C_{R,200ft} + \text{hiệu chỉnh} = 14,10 + 0,153 = 14,253$.

Để giúp bạn đọc chưa có dịp tiếp xúc và xử lý công thức Telfer trong hệ thống đo Anh_Mỹ, đoạn ngắn trích từ listing chương trình tính sức cản theo phương pháp Doust sẽ nêu rõ thứ tự thực hiện các phép tính chuyên C_{R200} , tính sức cản bằng lb hoặc kG, công suất hữu hiệu EHP. Tại đây người viết xin phép đưa vào một ngoại lệ, ngôn ngữ dùng viết chương trình là Pascal chuẩn, thay vì C ANSI thông lệ.

Procedure Doust;

(***** dung cho tau ca, pp Doust *****)

Const

a: array[1..4,0..29] of real=((-0.6641,0.1273,0.0652,0.0584,-0.0857,-0.0113,
0.0405,0.1973,0.0152,-0.0701,0.1402,0.0702,0.1363,-0.2305,-0.1762,0.4469,
-0.1416,-0.1003,0.2584,0.1767,0.0385,-0.1886,-0.0261,-0.0318,0.1375,0.1304,
0.1029,-0.0027,0.17,0.0975),(-0.5496,0.0901,0.0328,-0.0263,-0.1009,
0.1011,0.0641,0.212,-0.014,-0.1118,0.1933,0.1329,0.0232,-0.2643,-0.3374,
0.7199,-0.2178,-0.0851,0.0601,-0.022,0.0299,-0.2085,-0.0843,-0.1187,
0.0655,-0.001,-0.0407,0.1408,0.0649,-0.0015),(-0.1053,0.1795,0.1752,
-0.2771,-0.1268,0.5299,0.1988,0.3129,-0.1068,-0.1873,0.3603,0.3203,
-0.1599,-0.5207,-0.4600,1.472,-0.6562,-0.3545,0.1542,-0.1283,0.0506,
-0.3192,-0.311,-0.1835,0.0175,-0.3088,-0.6904,0.0928,0.2781,0.1457),
(0.1783,0.3259,0.3883,-0.2881,0.1321,0.4943,0.4091,0.128,-0.2769,
-0.004,0.5311,0.5239,-0.4904,0.0608,0.1516,-0.3782,-0.8533,0.1506,
-0.4252,0.1145,-0.093,-0.2343,-0.2299,-0.6057,-0.0804,-0.3055,
-0.8458,-0.2882,-0.0532,0.2367));

Ostandard:array[1..4] of real =(0.09668,0.08708,0.08266,0.07989);

Linft: array[1..4] of real =(50.0,100.,150.,200.0);

U:array[1..4] of real =(0.8,0.9,1.0,1.1);

Var

CR200,DELTA1,Rlb,RkG,SD23 :real;

SFC,BTS,LBS,CMS,CPs,LCBS,ALPHAES :real;

k,m :integer;

vdL,Vs,Sum :real;

aa,bb,cc,Cycl,Delta,DeltaL,Delta200: real;

Begin

Assign(Printer,'C:\R_tauca.out');

rewrite(Printer);

Clrscr;

writeln;

writeln;

Writeln('Suc can tau ca theo pp Doust');

```

writeln;
write(' Cho biet ten tau : ');
ReadLn( ship);
writeln(Printer, ship);
writeln;
writeln(' Enter :Lpp, B/T, L/B, LCB, CP, CM, Alpha');
  writeln(' Giai thich: Lm - chieu dai,[m]; B/T, L/B - ti le kich thuoc');
writeln(' L/B = 4,4 ~ 5,8; B/T = 2 ~ 2,6; CP = 0,6 ~ 0,7');
  writeln(' LCB= XB/Lpp, tinh bang %, trong do XB mang dau - ! neu');
writeln(' XB nam truoc mat giua tau, con mang dau + neu sau mat giua tau. ');
writeln(' LCB = +0 ~ +6% ');
  writeln(' CP- he so day lang tru; CM- he so day mat giua tau = 0,81
  ~0,91');
writeln(' Alpha- 1/2 goc vao mui tau [do], Alpha = 10 ~ 30 do ');
writeln;
writeln;
write(' Nhap Lpp [m] = '); readLn(Lm);
write(' Nhap B/T = '); readLn(BTS);
write(' Nhap L/B = '); readLn(LBS);
write(' Nhap LCB [%] = '); readLn(LCBS);
write(' Nhap CP [ ] = '); readLn(CPS);
write(' Nhap CM [ ] = '); readLn(CMS);
write(' Nhap Alpha [o]= '); readLn(ALPHAES);

Lft:=Lm/Foot;
Writeln(Printer, 'Resistance by Doust');
writeln(Printer);
  writeln(Printer, ' Lpp =',Lm:6:2,' m', ' B/T=',BTS:6:3,' L/B=',LBS:6:3);
writeln(Printer, ' LCB =',LCBS:6:2,'%Lpp CP=',CPS:6:3,' CM=',CMS:6:3,
  ' 1/2 Alphae =',Alphaes:6:2,' degrees');
writeln(Printer);
LB:= LBS-5.0; BT:= 100.0/64.0*(BTS-2.5);
CM:= 10.0*(CMS-0.875); CP:= 16.0*(CPS-0.64);
LCB:= 0.25*(LCBS-2.0); Alphae:=10.0/128.0*(Alphaes-20.0);
DeltaL:= Lft*(Lft/LBS)*(Lft/LBS/BTS)*CPS*CMS/35.0;
Delta200:=200*(200.0/LBS)*(200.0/LBS/BTS)*CPS*CMS/35.0;
Delta:=deltaL*1.016;
SD23:=3.223+0.5402*(Lm/Power(delta,0.33333333));
j:=0;
repeat
j:=j+1;
until (Lft < Linft[j]) or (j > 4);
if j=1 then
begin
aa:=50.0-Lft; bb:= 100.0-Lft;
cc:=(0.09668*bb-0.08708*aa)/50.0;
end;
if (j>1) and (j<=4) then
begin
aa:=Linft[j]-Lft;
bb:= aa/50.0*(Ostandard[j]-Ostandard[j-1]);
cc:= Ostandard[j]-bb;
end;
for i:=1 to 4 do
begin
vdL:= U[i]; Vs:= VdL* sqrt(Lft);
CycL:=1.055*VdL; Cycl:= Power(Cycl,-0.175);
(* writeln(' Ship velocity =',Vs:6:2,' kn'); *)

```

```

sum:=      a[i,0]+a[i,1]*BT+ a[i,2]*BT*BT+a[i,3]*LCB+a[i,4]*LCB*LCB+

      a[i,5]*CP+a[i,6]*CP*CP+a[i,7]*LB+a[i,8]*LB*LB+a[i,9]*CM+a[i,10]*ALPHAE+
a[i,11]*ALPHAE*ALPHAE+ a[i,12]*CP*LCB+a[i,13]*CP*LCB*LCB+
      a[i,14]*CP*CP*LCB+a[i,15]*CP*CP*LCB*LCB+ a[i,16]*CP*ALPHAE+a[i,17]*
CP*ALPHAE*ALPHAE+a[i,18]*CP*CP*ALPHAE+a[i,19]*CP*CP*ALPHAE*ALPHAE+
      a[i,20]*CP*LB+a[i,21]*CP*LB*LB+ a[i,22]*CP*CP*LB+ a[i,23]*CP*CP*LB*LB+
      a[i,24]*LB*ALPHAE+a[i,25]*LB*ALPHAE*ALPHAE+a[i,26]*LB*LB*ALPHAE+
a[i,27]*LB*LB*ALPHAE*ALPHAE+a[i,28]*CP*BT+a[i,29]*CP*BT*BT;
CR200:=10.0*Sum+16.0;
SFC:=(cc -0.07989)*Sd23*CycL;
Delta1:= 152.5*Sfc/Power(Delta200,0.3333333) ;
CR:=Cr200+Delta1;
Rlb:=Cr*DeltaL*sqr(vs)/Lft;
RkG:= 0.4536*Rlb;
EHP:= Rlb*vs/325.7;
writeln(Printer);
writeln(Printer,'                U        Vs        R        EHP');
      writeln(Printer,'                -        [HL/h]    [kG]        [HP]');
writeln(Printer);
writeln(Printer, U[i]:14:2, Vs:6:2, Rkg:12:2, EHP:10:3);
end;
      Close(Printer);
end;

```

3.3.3 Sức cản tàu chạy trên miền nước cạn

Sức cản vỏ tàu rất nhạy cảm với chiều sâu vùng nước hoạt động. Tại những vùng nước cạn sức cản tăng lên một cách đáng kể. Nguyên nhân của sự thay đổi có thể tìm trong sự khác nhau của các hàm thế dòng bao quanh thân tàu khi tàu ở trên nước sâu và khi ở nước cạn. Biểu hiện ra ngoài chúng ta có thể quan sát bằng mắt thường. Khi chạy trên vùng nước sâu tàu tạo hệ thống sóng ngang và sóng xiên để tổng hợp lại thành hệ thống sóng cắt ngang tàu ở góc cố định, giữa 19 và 20°, nói cụ thể hơn góc này theo tính toán của nhiều nhà nghiên cứu là 19°28'.

Từ lý thuyết sóng nước chúng ta cũng biết rằng vận tốc sóng trên mặt nước phụ thuộc vào chiều sâu vùng nước h :

$$V_w^2 = \frac{g.L_w}{2\pi} \cdot \tanh \frac{2\pi h}{L_w}, \quad (3.46)$$

trong đó L_w - chiều dài sóng đo từ đỉnh đến đỉnh kế tiếp.

Khi h/L_w tăng, $\tanh(2\pi h/L_w)$ tiến đến 1, do vậy trên vùng nước sâu vận tốc sóng trở thành:

$$V_w^2 = \frac{g.L_w}{2\pi} \quad (3.47)$$

Ngược lại khi h giảm, tỷ lệ h/L_w nhỏ, hàm $\tanh(2\pi h/L_w)$ tiến đến $2\pi h/L_w$, và trên nước cạn vận tốc sóng trở thành:

$$V_w^2 = gh \quad (3.48)$$

Từ công thức cuối có thể nhận thấy, sóng nước sẽ thay đổi mang tính đột xuất khi vận tốc sóng $V_w = \sqrt{gh}$, góc cắt của sóng với tàu lớn đến mức gần vuông góc với hướng tiến của tàu. Số

Froude liên quan đến vận tốc tàu trên vùng nước cạn giờ đây có thể viết $Fn_H = \frac{V}{\sqrt{gh}}$. Quan hệ giữa số Fn_H và Fn thông thường $Fn = \frac{V}{\sqrt{gL}}$ được biểu diễn dưới dạng:

$$Fn_H = \frac{V}{\sqrt{gh}} = \sqrt{\frac{L}{h}} Fn \quad (3.49)$$

Trong thực tế từ Fn_H xấp xỉ $0,4 \div 0,5$ góc cắt sóng đã bắt đầu tăng, chiều cao sóng do tàu tạo ra cao dần. Khi số này gần bằng 1 hệ thống sóng từ mũi tàu và đuôi tàu gần như nằm ngang, tạo góc gần 90° so với thân tàu, chiều cao sóng đạt giá trị hết sức lớn nếu h nhỏ. Giá trị này, $V \approx (0,85 \div 0,95) \cdot \sqrt{gh}$ được gọi là vận tốc giới hạn. Tại vận tốc cao hơn vận tốc giới hạn góc cắt sóng giảm dần và sau đó trở lại trạng thái gần như sóng trên nước sâu.

Sức cản tàu trên nước cạn tăng giảm theo mô hình tạo sóng vừa nêu. Trong giới hạn tàu chạy không nhanh, Fn_H khoảng $0,4 - 0,5$, ảnh hưởng của chiều sâu vùng nước đến sức cản không đáng kể. Khi tăng Fn_H lên trên miền $0,5$ sức cản tàu tăng lên rõ rệt. Khi vận tốc tàu đạt đến vận tốc giới hạn sức cản tàu đạt giá trị lớn nhất. Sau miền vận tốc giới hạn, sức cản tàu giảm và tại miền vận tốc cao nhất định sức cản tàu trên vùng nước cạn nhỏ hơn giá trị tương ứng tính trên vùng nước sâu. Trên đồ thị tại hình H.3.4 dưới đây giới thiệu các đường sức cản vô tàu trên vùng nước cạn, phụ thuộc vào tỷ lệ h/T , trong đó các đường I, II, III vẽ tương ứng cho trường hợp $\left(\frac{h}{T}\right)_I < \left(\frac{h}{T}\right)_{II} < \left(\frac{h}{T}\right)_{III}$. Tại đồ thị trên đây còn có đường sức cản tàu tương đương tính cho trường hợp nước vô cùng sâu.

Một trong những phương pháp kinh nghiệm tính sức cản tàu chạy trên vùng nước cạn như sau. Sức cản toàn bộ được coi là tổng của sức cản ma sát và sức cản dư. Trong đó sức cản ma sát phụ thuộc vào vận tốc V_f còn sức cản dư phụ thuộc vào vận tốc V_r .

$$R = \frac{1}{2} \rho V_f^2 S + \frac{1}{2} \rho V_r^2 S \quad (3.50)$$

Trong công thức trên đây vận tốc V_f và V_r tính bằng công thức kinh nghiệm:

$$V_f = \frac{V}{\alpha} \quad (3.51)$$

$$V_r = \frac{V}{\beta} \quad (3.52)$$

trong đó : V - vận tốc tàu trên vùng nước độ sâu h , hệ số α, β phụ thuộc vào tỉ lệ H/T và số Froude Fr_H .

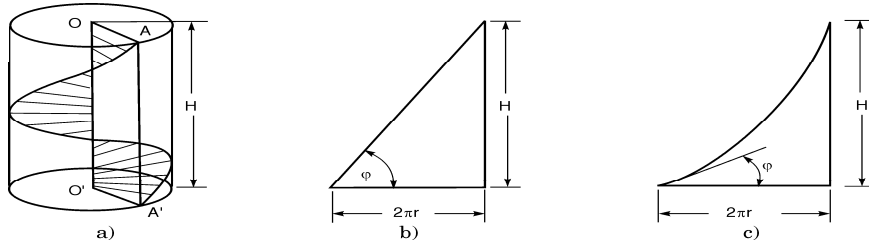
Chương 4

THIẾT KẾ CHÂN VỊT TÀU THỦY

4.1 ĐẶC TÍNH HÌNH HỌC CHÂN VỊT

Chân vệt tàu thủy gồm có củ và các cánh gắn lên nó. Cánh chân vệt là vật thể do hai mặt xoắn ốc giới hạn. *Mặt xoắn ốc* chân vệt xây dựng trên cơ sở các *đường xoắn ốc*.

Một điểm A cách trục đoạn r , quay quanh trục OX với vận tốc có thể không đổi, đồng thời chuyển động tịnh tiến theo hướng dọc trục OX về nên đường xoắn ốc. Tùy thuộc vận tốc tịnh tiến cố định hay thay đổi, đường xoắn ốc sẽ có bước cố định hoặc bước thay đổi. Khai triển đường xoắn ốc bước cố định có dạng như tại H.5.1b, đường với bước thay đổi dạng (H.4.1c).



Hình 4.1 Đường xoắn ốc và góc xoắn

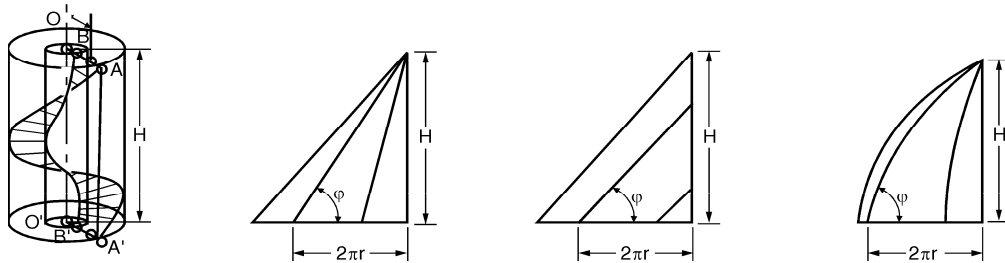
Bước xoắn (Pitch), ký hiệu P hoặc H, là quãng đường song song với trục quay mà điểm A (H.5.1) đạt được sau một vòng quay.

Góc xoắn:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{H}{2\pi \cdot r} \quad (4.1)$$

Tam giác tại (H.4.1 b, c) gọi là *tam giác bước*.

Một đoạn cung bất kỳ, ví dụ cung AB trên H.4.2, vừa quay quanh trục OX vừa chuyển động tịnh tiến dọc trục sẽ vẽ nên *mặt xoắn ốc* trong lòng ống trụ. Đoạn AB được gọi là *đường sinh* của mặt xoắn ốc. Đường sinh có thể là đoạn thẳng, cung hai chiều hoặc cung ba chiều. Đường sinh có thể vuông góc với trục quay và cũng có thể nghiêng dưới góc bất kỳ so với trục. Tính đa dạng của đường sinh tạo ra đa dạng của mặt xoắn do nó sinh ra.



Hình 4.2 Mặt xoắn ốc và góc xoắn

Mỗi cánh chân vịt là do hai mặt xoắn ốc chung đường giao hay là đường bao cánh tạo nên. Đường bao là mép cánh chân vịt. Mép cánh làm nhiệm vụ chém vào nước lúc tàu tiến về trước gọi là mép dẫn (*leading edge* - LE) còn mép kia, nằm ở phía ngược lại gọi là mép thoát (*trailing edge* - TE).

Trong hai mặt xoắn, mặt nằm về phía đi tới của tàu gọi là *mặt hút*. Thông thường mặt hút có bước thay đổi theo hai hướng, là mặt 3D có cấu hình phức tạp. Mặt ngược có tên gọi là *mặt đập*.

Diện tích mặt xoắn ốc bọc cánh gọi là *diện tích cánh chân vịt*. Diện tích tất cả các cánh của một chân vịt, là *diện tích khai triển* của các cánh, ký hiệu A_D (A_D). Diện tích này trải ra trên mặt phẳng chuẩn gọi *diện tích mặt trải*, ký hiệu A_e (A_E).

Hình chiếu đường bao cánh lên mặt phẳng $Y0Z$ vuông góc với trục quay $0X$ gọi là hình chiếu bao cánh. Diện tích hình này có tên gọi *diện tích hình chiếu cánh*. Tổng diện tích hình chiếu cánh của tất cả các cánh gọi là diện tích hình chiếu cánh, ký hiệu A_p hoặc A_c .

Diện tích vòng tròn đường kính D : $A_0 = \pi \cdot D^2 / 4$ có tên gọi diện tích mặt đĩa.

Công thức gần đúng xác định quan hệ giữa A_D , A_p , chân vịt seri B-Wageningen như sau:

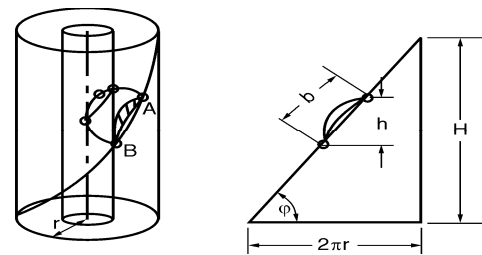
$$A_D \cong \frac{A_p}{(1,067 - 0,229 P / D)}, \text{ trong đó } P - \text{bước chân vịt.} \quad (4.2)$$

$$\text{Tỉ lệ mặt đĩa: } a_p = \frac{A_p}{A_0} = \frac{4 A_p}{\pi \cdot D^2}; \quad a_d = \frac{A_d}{A_0} = \frac{4 A_d}{\pi \cdot D^2}; \quad a_e = \frac{A_e}{A_0} = \frac{4 A_e}{\pi \cdot D^2} \quad (4.3)$$

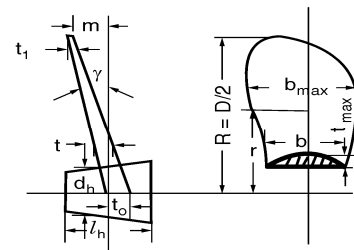
Đặc trưng hình học cùng ký hiệu

Đường kính chân vịt	$D = 2R$;
Đường kính củ chân vịt $d_h \approx (0,16 \div 0,18) \cdot D$	
Bán kính các mặt cắt trụ	r
Số cánh	Z
Bước chân vịt	P hoặc H
Diện tích mặt đĩa	A_0
Chiều rộng cánh tại mặt cắt	rb
Chiều rộng cánh lớn nhất	$b_{\max}$
Chiều dày cánh	e hoặc t
Chiều dày tường tương đương của cánh tại tâm củ: e_0, t_0	
Độ nghiêng đầu cánh	m
Góc nghiêng cánh	γ
Các tỉ lệ hình học:	
Tỉ lệ bước	H/D hoặc P/D
Tỉ lệ mặt đĩa	a_E
Tỉ lệ đường kính củ	d_h / D
Tỉ lệ chiều rộng cánh	b / D
Tỉ lệ chiều rộng cánh lớn nhất $b_{\max} / D$	
Tỉ lệ chiều dày cánh	t_0 / D

Với chân vịt B-Wageningen tỉ lệ $b_{\max} / D$ nằm trong phạm vi:



Hình 4.3

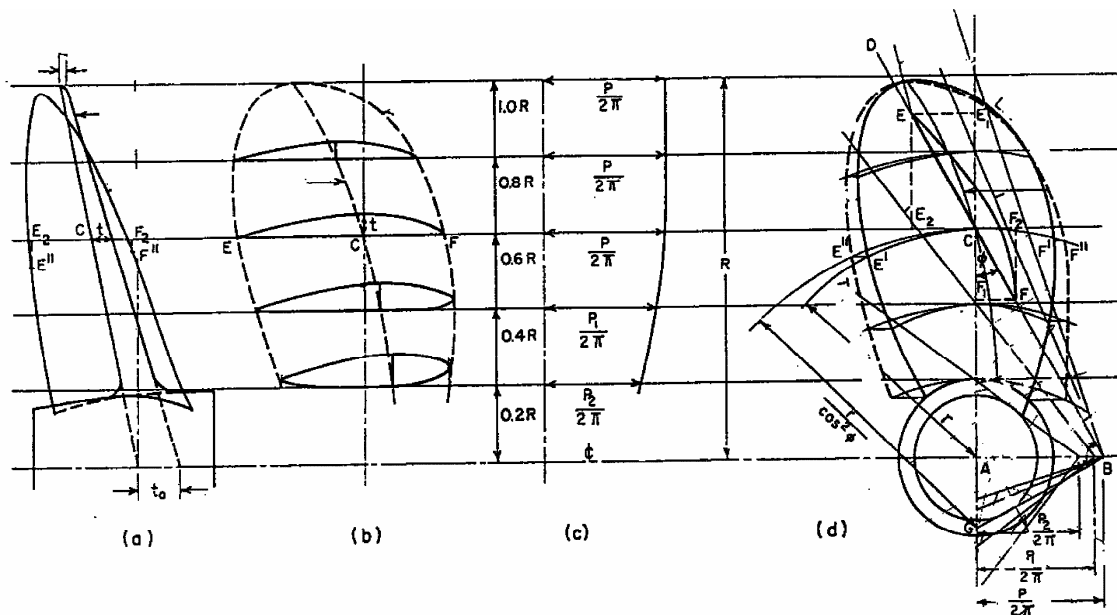


Hình 4.4 Các đặc trưng hình học chân vịt

(4.4)

Bán kính lượn cánh với củ: $R = 0,03D$ phía nhỏ, $0,035D$ phía lớn.

- Về các profil mặt trái theo kích thước đã tính toán. Kích thước profil chân vịt seri B Wageningen bạn đọc xem chi tiết tại bảng 5.7 và 5.8 sách “Lý thuyết tàu thủy”, tập 2, NXB Đại học Quốc gia Tp Hồ Chí Minh, 2004.



Hình 4.5 Vẽ chân vịt theo phương pháp khai triển ellipse

- Theo phương pháp khai triển ellipse vẽ hình chiếu cánh tại mặt bằng.
- Vẽ hình chiếu cạnh.

Khai triển ellipse áp dụng cho một mặt cắt tại bán kính r được minh họa tại H.4.5. Bằng cách tương tự có thể tiến hành vẽ đường bao đi qua tất cả mặt cắt.

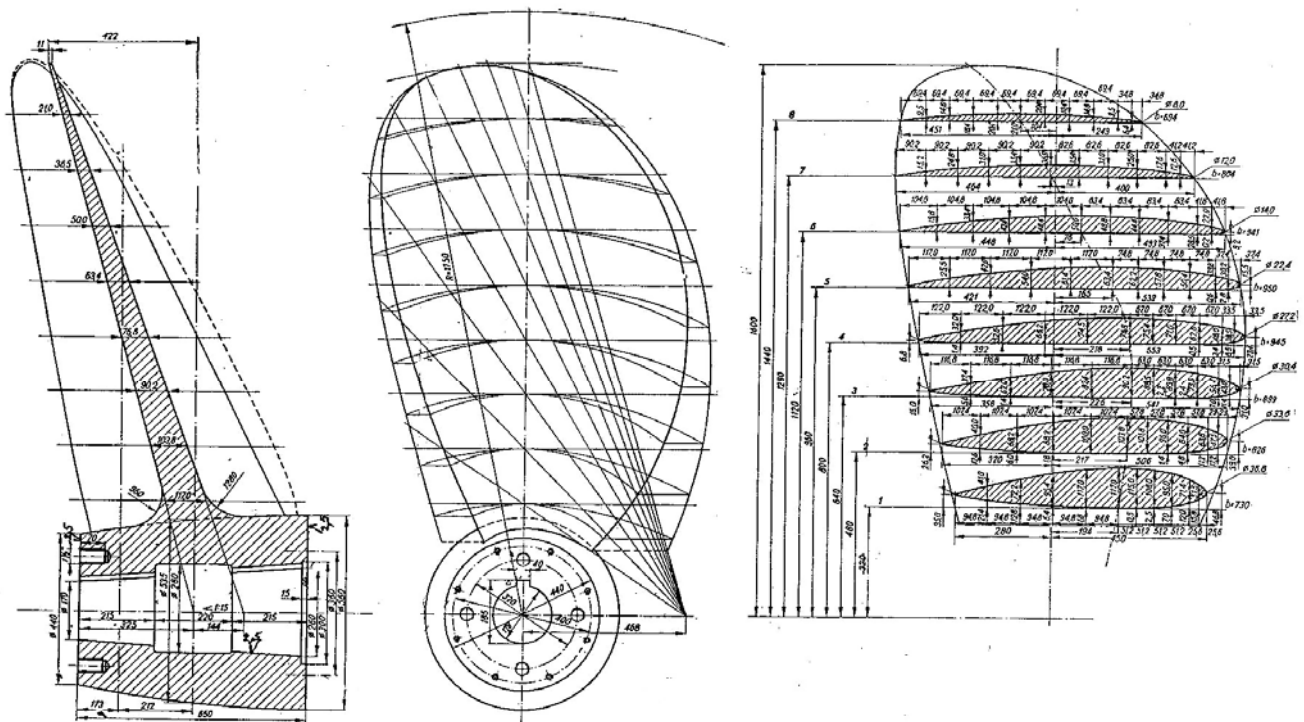
Giả sử rằng mặt cắt trục bán hình r cho phép nhận được profil mặt cắt dạng cung. Sau đó có thể xác định bước tại bán kính này P . Nếu chọn AB đoạn thẳng dài $P/2\pi$, đoạn BCD xuất phát từ B được nối, góc xoắn chân vịt tại bán kính r là góc ACB , ký hiệu φ . Hình chiếu của EF sẽ là E_1CF_1 .

Từ tâm A vẽ cung tròn bán kính r , xác định hình chiếu của mặt cắt trên cung nhờ phép đo $\overline{CE^1} = CE_1$ và $\overline{CF^1} = CF_1$. Điểm E^1 và F^1 nằm trên đường bao mặt chiếu cánh.

Hình chiếu đường bao mặt khai triển được xác định trên cung “ellipse”, thực tế là trên cung tròn bán kính $CG = r/\cos^2 \varphi$.

Xác định vị trí các điểm E_2, F_2 trên hình chiếu cạnh theo cách làm tương tự.

Bản vẽ chân vịt tiêu biểu có dạng như tại hình



Hình 4.6 Bản vẽ chân vịt

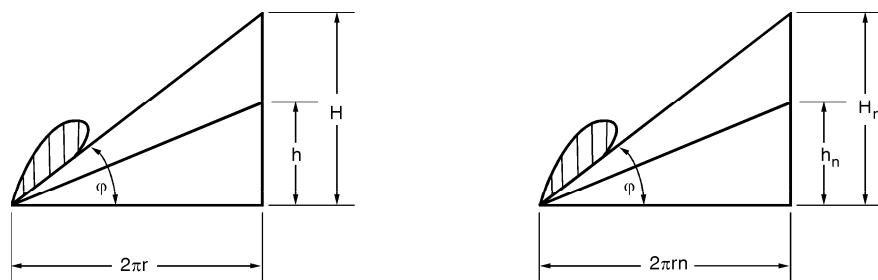
4.3 ĐẶC TÍNH THỦY ĐỘNG LỰC

Quãng đường h là bước tiến thật của chân vịt tàu. Tốc độ tịnh tiến thật sẽ là:

$$V_p = h.n. \quad (4.5)$$

Tỉ số giữa lượng trượt hình học $H-h$ và bước xoắn là hệ số trượt:

$$s = \frac{H-h}{H} = \frac{Hn-hn}{Hn} = 1 - \frac{V_p}{Hn} \quad (4.6)$$



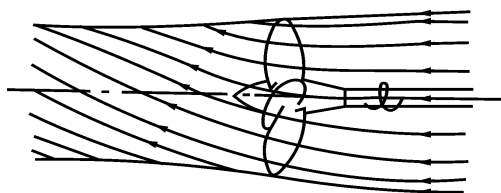
Hình 4.7 Tam giác bước và tam giác tốc độ.

Tỉ lệ giữa bước tiến thật và đường kính chân vịt là hệ số tiến, ký hiệu J .

$$J = \frac{h}{D} = \frac{v_p}{n \cdot D} \quad (); \quad s = 1 - \frac{v_p}{Hn} = 1 - \frac{J}{H/D} \quad (4.7)$$

hoặc dưới dạng: $J = \frac{H}{D} \cdot (1 - s) \quad (4.8)$

Máy đẩy tàu dạng các cánh quạt sử dụng momen quay từ máy chính của tàu, quay trong nước, tác động trực tiếp đến nước chảy qua mặt đĩa công tác của máy đẩy. Hình ảnh dòng chảy trước và sau mặt công tác của máy đẩy thông dụng được minh họa trên hình 5.8



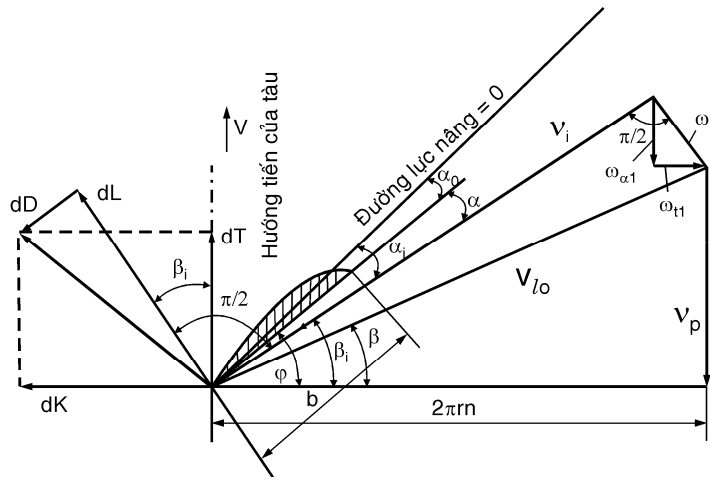
Hình 4.8 Đường dòng qua chân vịt.

Các thành phần tốc độ trên cánh

Tại mặt cắt cánh theo mặt trụ bán kính r tốc độ dọc trục của dòng nước đến chân vịt là V_p , còn tốc độ vòng là $2\pi rn$. Các thành phần này sinh trong khi chân vịt làm việc gồm $v_{\alpha 1}$ trùng với hướng của V_p , tốc độ vòng v_{t1} trùng với chiều quay chân vịt, và do vậy ngược với tốc độ vòng dòng chảy bao chân vịt. Tổng các thành phần gọi là tốc độ tương đối của nước đến phần tử cánh v_i . Độ lớn tốc độ này phụ thuộc vào hình dáng profil cánh và là hàm của góc tấn α .

Cánh dùng trong chân vịt tàu được NACA nghiên cứu từ những năm ba mươi. Những đại lượng hình học đặc trưng cho cánh gồm:

Chiều rộng sải c kéo từ điểm LE đến TE của phần tử, trong đó LE - mép dẫn, TE - mép thoát. Chiều dày t đo từ mặt mặt hút đến mặt đập tại vị trí dày nhất ký hiệu $t_{\max}$. Chiều dày $t = t_1 + t_2$. Chiều dày trung bình $t_{tb} = (t_1 + t_2)/2$. Tỉ lệ đặc trưng của cánh là t/c , được dùng làm ký hiệu cho các mô hình cánh. Cánh áp dụng vào chân vịt tàu có tỷ lệ t/c nằm trong phạm vi 0,02 đến 0,06.



Hình 4.9 Các thành phần tốc độ và thành phần lực trên cánh

Đặc trưng động lực học của cánh được xác định bằng các hệ số:

- Hệ số lực nâng: $C_L = \frac{L}{\rho \cdot \frac{V_i^2}{2} \cdot A}$ (4.9)

- Hệ số lực cản: $C_D = \frac{D}{\rho \cdot \frac{V_i^2}{2} \cdot A}$ (4.10)

- Tỷ lệ giữa lực cản D và lực nâng L: $\varepsilon = \frac{D}{L} = \frac{C_D}{C_L}$ (4.11)

trong đó L - lực nâng trên cánh, D - lực cản.

Các hệ số lực nâng và lực cản của một dạng cánh là hàm của góc tấn. Góc tấn mà tại đó $C_L = 0$ được gọi là góc của lực nâng 0, ký hiệu bằng α_0 . Trong tính toán, sử dụng góc tấn α_i tính từ hướng tác động của dòng chảy với vận tốc v_i đến đường lực nâng $L = 0$, theo công thức:

$$\alpha_i = \alpha + \alpha_0. \quad (4.12)$$

Hệ số lực đẩy $K_T = \frac{T}{\rho \cdot n^2 D^4}$ (4.13)

Hệ số tiến $J = \frac{v_p}{nD}$ (4.14)

Số Reynolds $Rn = \frac{\rho \cdot n D^2}{\eta}$ (4.15)

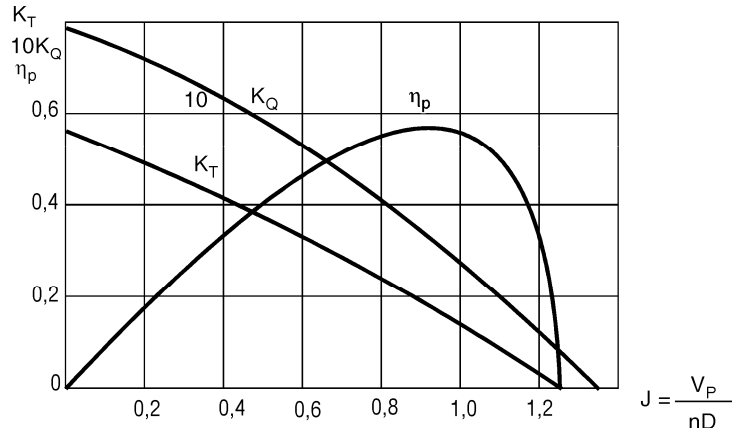
Số sủi bọt $\sigma_0 = \frac{p_0 - e}{\frac{1}{2} \rho \cdot n^2 D^2}$ (4.16)

Hệ số momen quay $K_Q = \frac{Q}{\rho \cdot n^2 D^5}$ (4.17)

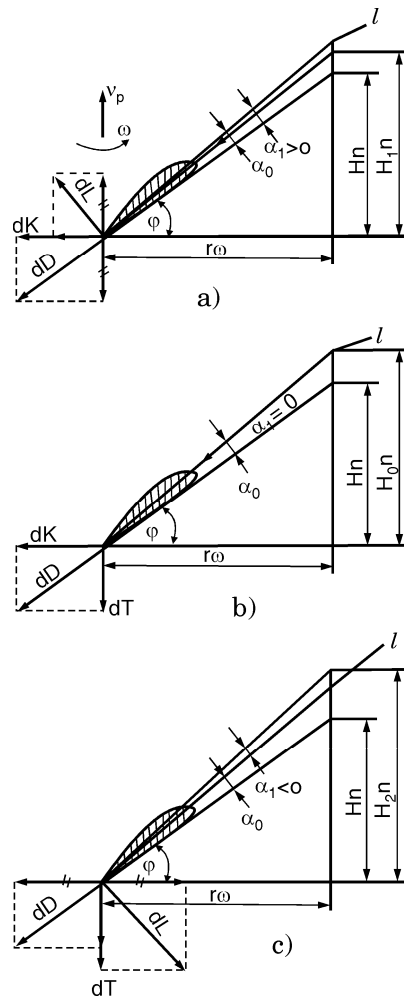
Công suất cần thiết, tính bằng metric HP, để quay chân vịt:

$$P = \frac{Q \cdot \omega}{75} = \frac{K_Q \rho \cdot n^2 D^5 2\pi \cdot n}{75} = \frac{2\pi}{75} \cdot K_Q \rho \cdot n^3 D^5. \quad (4.18)$$

Hiệu suất làm việc của chân vịt: $\eta_p = \frac{K_T}{K_Q} \cdot \frac{J}{2\pi} \quad (4.19)$



Hình 4.11 Hệ số lực đẩy, momen quay của chân vịt.



Hình 4.10

Các hệ số K_T , K_Q , η_p biểu diễn dưới dạng các đường cong phụ thuộc vào hệ số tiến J .

Trong điều kiện thử tàu tại bến, vận tốc tiến của tàu và chân vịt đều bằng 0, và $J = \frac{V_p}{nD} = 0$

Trường hợp thứ nhất giá trị K_T , K_Q đạt lớn nhất tại thời điểm này. Khi tăng vận tốc tương đối J , góc β_i tăng và hậu quả là làm cho α_i giảm, dẫn đến giảm hệ số lực nâng C_L , từ đó giảm các hệ số K_T , K_Q .

Đến một giới hạn nhất định của $J = J_1$ sẽ xảy ra hiện tượng $K_T = 0$ trong khi $K_Q \neq 0$, dẫn đến hiệu suất bằng 0 và lực đẩy không còn, khi đó momen quay còn lớn hơn 0.

Trường hợp thứ hai có thể xuất hiện là, khi $\alpha_i = 0$, tại phần tử cánh không xuất hiện lực nâng dL . Chân vịt trong trường hợp này làm việc ở chế độ không tạo lực nâng.

Trường hợp thứ ba có thể xảy ra khi J đạt giá trị J_2 nhất định, hệ số $K_Q = 0$ còn $K_T < 0$. Góc $\alpha_i < 0$ làm cho lực nâng $dL < 0$. Qua khỏi giới hạn J_2 hệ số $K_Q < 0$ và do vậy giá trị của $dQ < 0$.

Trong phạm vi $0 < J < J_1$ chân vịt tàu làm nhiệm vụ của máy đẩy tàu, tạo lực đẩy lớn hơn 0, đưa tàu lên phía trước. Khi vượt qua J_2 chân vịt tàu sẽ làm việc như tua bin tạo momen quay. Còn trong phạm vi $J_1 < J < J_2$ chân vịt không đóng vai trò máy đẩy và cũng không phải tua bin.

4.4 ĐỒ THỊ THIẾT KẾ CHÂN VỊT

Từ đồ thị chân vịt seri B của Wageningen xây dựng các đồ thị dùng rộng rãi:

- 1- **Đồ thị bề thử Taylor Bp** - δ được dùng tại hầu hết các nước,
- 2- **Đồ thị Papieml**, được lập ra và dùng chính thức tại Russia,
- 3- **Đồ thị dạng $\varphi - \mu - \sigma$** tiện lợi cho công việc đánh giá tính năng chân vịt.

1. Đồ thị bề thử Taylor

Các hệ số trong đồ thị Taylor bao gồm:

$$B_P = \frac{(DHP)^{1/2} \cdot N}{V_a^{2.5}},$$

$$\text{hoặc viết cách khác } B_P = \frac{N}{V_a^2} \cdot \sqrt{\frac{P_D}{V_a}} \quad (4.19) \quad \text{và } \delta = \frac{N \cdot D}{V_a} \quad (4.20)$$

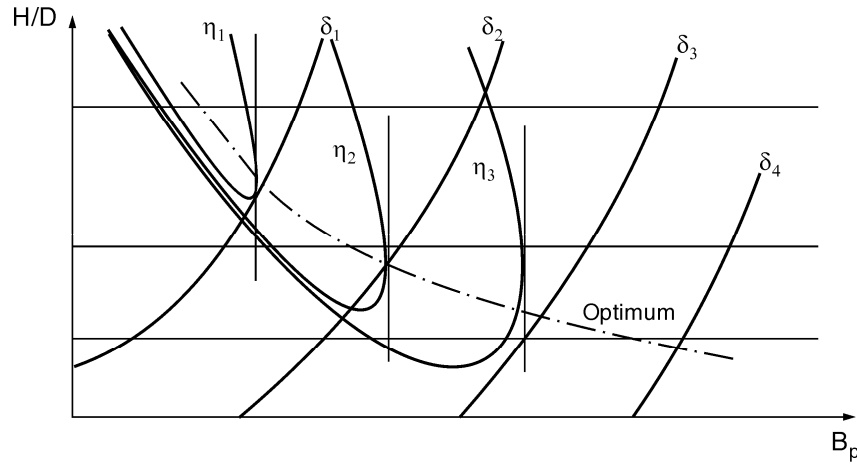
trong đó DHP hoặc P_D - công suất dẫn đến trục chân vịt, tính bằng mã lực (HP) theo hệ thống đo Imperial (Anh-Mỹ).

N - vòng quay trục chân vịt trong một phút; V_a - Tốc độ tiến, đo bằng HL/h (kn),

D - Đường kính chân vịt, đo bằng feet (ft).

Cũng trên đồ thị $B_P - \delta$, tại trục đứng có thể đọc các giá trị tỉ lệ bước H/D của chân vịt, ứng với B_P .

Đường kính chân vịt tính từ quan hệ ràng buộc trong đồ thị, $D = \delta \cdot V_a / N$.



Hình 4.12 Đồ thị $B_p - \delta$.

Đồ thị $B_p - \delta$ áp dụng cho trường hợp $V_a > 0$. Đường kính tối ưu cần được hiệu chỉnh cho trường không điều hòa. Sự khác biệt về kích thước tối ưu của đường kính nằm trong phạm vi từ 0 ÷ 8% cho chân vịt tàu một chân vịt và từ 0 ÷ 4% cho tàu hai chân vịt.
Đồ thị nhóm vỏ gồm các thông số sau:

$$B_U = \frac{(THP)^{1/2} \cdot N}{V_a^{2,5}}, \text{ hoặc viết cách khác } B_U = \frac{0,05541 \cdot N}{V_a^2} \cdot \sqrt{T}; \quad \delta = \frac{N \cdot D}{V_a} \quad (4.21)$$

$$\text{Hai nhóm công thức có mối quan hệ ràng buộc: } B_U = B_P \sqrt{\eta_P} \quad (4.22)$$

Bản thân B_P , B_U liên quan đến các hệ số trong đồ thị nguyên thủy như sau.

$$B_P = 33,09 \sqrt{\frac{K_Q}{J}} \quad (4.23); \quad B_U = 13,20 \sqrt{\frac{K_T}{J}} \quad (4.24); \quad \delta = \frac{101,3}{J} \quad (4.25)$$

Từ 1975 tại USA sử dụng đồ thị Taylor cải biên. Đồ thị dạng này trình bày η_0 và $1/J$ trong hệ tọa độ $0,1739 \sqrt{B_P} - P/D$. Trong hệ tọa độ này $\sqrt{B_P}$ tính theo công thức:

$$0,1739 \sqrt{B_P} = \frac{\sqrt[4]{K_Q}}{\sqrt[4]{J^5}} \quad (4.26)$$

Với hệ tọa độ cải biên, không thứ nguyên này người sử dụng UK, USA có thể sử dụng các đơn vị thuộc hệ thống đo Imperial hoặc hệ thống đo SI trong tính.

$$\frac{\sqrt[4]{K_Q}}{\sqrt[4]{J^5}} = \sqrt[4]{\frac{P_D N^2}{2\pi \rho V_a^5}} = \sqrt[4]{\frac{Q N^3}{\rho V_a^5}} \quad (4.27)$$

$$\text{Đồ thị thứ hai } B_U: 1,75 \sqrt{B_U} = \frac{\sqrt[4]{K_Q}}{\sqrt[4]{J^3}} \quad (4.28)$$

$$\frac{\sqrt[4]{K_Q}}{\sqrt[4]{J^3}} = \sqrt[4]{\frac{P_D}{2\pi \rho D^2 V_a^3}} = \sqrt[4]{\frac{Q n}{\rho D^2 V_a^3}} \quad (4.29)$$

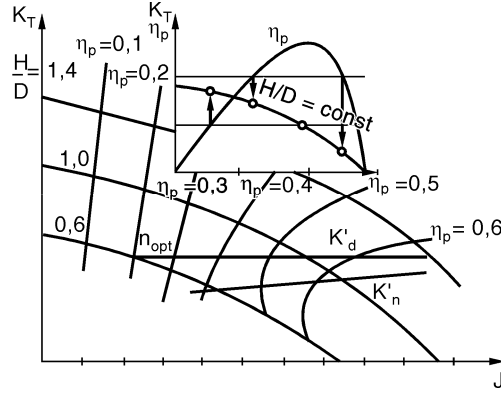
Hệ số tiến δ thay bằng quan hệ $1/J$.

Ký hiệu đang dùng chỉ B_P và B_U còn có dạng: $B_{P1} \cong B_P$, còn $B_{P2} \cong B_U$.

Đồ thị $\sqrt{B_P} - 1/J$ và $\sqrt{B_U} - 1/J$ (còn ký hiệu $\sqrt{B_{P1}}$ và $\sqrt{B_{P2}}$) của chân vịt seri B trình bày tại các hình cuối chương này.

2. Đồ thị Papiel

Đồ thị do Papiel E.E. đề xướng xây dựng trên cơ sở dữ liệu của các đồ thị $K_T - J - \eta_p$ và đồ thị $K_Q - J - \eta_p$. Cơ sở dữ liệu để Papiel xây dựng đồ thị của mình là kết quả đo của nhóm mô hình chân vịt giống như chân vịt seri B Wageningen thuộc Netherlands.



Hình 4.13 Cách lập đồ thị Papiel họ $K_T - J$

Đường tối ưu trong đồ thị Papiel có dạng đặc biệt. Đường cong xác định đường kính chân vịt tối ưu K_n được lập cho trường hợp khi đã có n - vòng quay chân vịt. Ngược lại khi đường kính đã xác định, có thể sử dụng đường tối ưu K_d để tìm vòng quay thích hợp nhất.

$$K'_n = \frac{J}{\sqrt[4]{K_T}} = \frac{Vp}{\sqrt{n}} \cdot \sqrt[4]{\frac{\rho}{T}} \quad (4.46); \quad \text{và} \quad K'_d = D \cdot Vp \cdot \sqrt{\frac{\rho}{T}} \quad (4.30)$$

Họ đường cong tối ưu trên đồ thị họ “máy tàu” theo cách làm của Papiel có dạng:

$$K''_n = \frac{Vp}{\sqrt{n}} \cdot \sqrt[4]{\frac{\rho \cdot Vp}{P_D}} = \sqrt[4]{\frac{75 \cdot J^5}{2 \cdot \pi \cdot K_Q}} \quad (5.31)$$

$$K''_d = D \cdot Vp \cdot \sqrt{\frac{\rho \cdot Vp}{P_D}} = \sqrt{\frac{75 J^3}{2 \pi \cdot K_Q}} \quad (4.32)$$

3. Đồ thị dạng $\varphi - \mu - \sigma$

Đồ thị $\varphi - \mu - \sigma$ trình bày quan hệ giữa J với các hệ số K_T , K_Q và tỉ lệ $\frac{D \cdot T}{2 \pi \cdot Q}$ (hệ số lực đẩy), hình 5.20.

Các hệ số dùng trong đồ thị như sau:

$$\varphi = Vp \sqrt{\frac{\rho \cdot D^3}{Q}} = \frac{J}{\sqrt{K_Q}} \quad (4.33)$$

$$\mu = n \sqrt{\frac{\rho \cdot D^5}{Q}} = \frac{1}{\sqrt{K_Q}} \quad (4.34)$$

$$\sigma = \frac{T.D}{2\pi.Q} = \frac{K_T}{2\pi.K_Q} \quad (4.35)$$

trong đó: D - đường kính chân vịt, (m); Q - Momen quay, (kG.m);

ρ - Mật độ nước, ($\text{kg.m}^{-4}.\text{s}^2$); n - vòng quay chân vịt, (vòng/ giây);

Vp - Vận tốc tiến của tàu, (m/s);

Hệ thống đường vận tốc tiến tương đối $\varphi = \text{const}$ được lập cho phạm vi rộng từ 0 (khi Vp = 0) đến giá trị lớn có thể, ví dụ $\varphi_{\max} = 14$. Trong chế độ thử tàu tại bến bằng biện pháp ủa bến, buộc cọc, khi vận tốc tàu Vp $\rightarrow 0$ người dùng có quyền sử dụng đường $\varphi = 0$ để xem xét và tính toán lực đẩy chân vịt. Trong trường hợp thử ở chế độ buộc tàu, lực kéo chân vịt đạt giá trị lớn nhất. Với chân vịt có tỉ lệ bước không đổi, từ điểm gặp nhau giữa hai hệ đường H/D = const và $\varphi = 0$ trên đồ thị dạng $\varphi - \mu - \sigma$ sẽ nhanh chóng xác định vòng quay trục chân vịt và theo đó, thông qua tỉ số truyền của hộp số, nếu có, vòng quay mà máy chính có thể phát huy được trong điều kiện thử tàu tại bến.

Hoán đổi các hệ số

Công thức trong hệ metric

$$K_Q = 2,4669.10^4 \left(\frac{P_D}{N^3 D^5} \right), \text{ dùng cho nước biển.} \quad (4.36)$$

$$B_p = 23,77 \sqrt{\frac{\rho.K_Q}{J^5}} \quad (4.54); \quad J = \frac{30,896.Va}{N.D} = \frac{101,33}{\delta} \quad (4.37)$$

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{K_Q}} = 6,3668.10^{-3} \cdot \sqrt{\frac{N^3 D^5}{P_D}}, \text{ dùng cho nước biển.} \quad (4.38)$$

$$\varphi = \frac{J}{\sqrt{K_Q}} = J\mu \quad (4.57); \quad \sigma = \frac{\eta_p}{J} = \frac{\eta_p \cdot \mu}{\varphi} = \frac{K_T}{2\pi.K_Q} \quad (4.39)$$

trong đó: P_D - Công suất dẫn đến đầu trục chân vịt, (PS);

Q - Momen quay, (kGm); T - Lực đẩy của chân vịt, (kG);

N - vòng quay chân vịt trong một phút, (v/ph);

n - vòng quay chân vịt trong một giây, (v/gy);

D - Đường kính chân vịt, (m); Vp - Tốc độ tiến, (m/s); Va - Tốc độ tiến, (HL/h);

ρ - mật độ nước, ($\text{kg.m}^{-4}.\text{s}^2$). (104,48 cho nước biển ; 101,94 cho nước ngọt)

Trong hệ thống đo Imperial tại UK, USA

$$K_Q = 9,5013.10^6 \left(\frac{P_D}{N^3 D^5} \right), \text{ dùng cho nước biển.} \quad (4.40)$$

$$J = \frac{101,33.Va}{N.D} = \frac{101,33}{\delta} \quad (4.41)$$

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{K_Q}} = 3,2442.10^{-4} \cdot \sqrt{\frac{N^3 D^5}{P_D}}, \text{ dùng cho nước biển.} \quad (4.42)$$

$$\varphi = \frac{J}{\sqrt{K_Q}} = J \cdot \mu \quad (4.62); \quad \sigma = \frac{\eta_p}{J} = \frac{\eta_p \cdot \mu}{\varphi} = \frac{K_T}{2\pi \cdot K_Q} \quad (4.43)$$

trong đó: P_D - Công suất dẫn đến trục chân vịt, (HP); Q - Momen quay, (lbf.ft);
 T - Lực đẩy của chân vịt, (lbf); N - vòng quay chân vịt trong một phút, (v/ph);
 n - vòng quay chân vịt trong một giây, (v/gy); D - Đường kính chân vịt, (ft);
 V_p - Tốc độ tiến, (ft/s); V_a - Tốc độ tiến, (HL/h);
 ρ - mật độ nước, (slug/ft³). (1,99 cho nước biển; 1,94 cho nước ngọt).

4.5 TINH HỆ SỐ DÒNG THEO VÀ HỆ SỐ LỰC HÚT

Hệ số dòng theo tàu đi biển

Công thức Taylor

Tàu một chân vịt: $w = 0,5C_B - 0,5$;

Tàu hai chân vịt: $w = 0,55C_B - 0,2$.

(4.44)

Công thức Gill.

Tàu một chân vịt: $w = C_B/1,5 - 0,15$;

Tàu hai chân vịt: $w = C_B/1,5 - 0,27$.

(4.45)

Công thức Papierny: $w = 0,156 \cdot C_B^n \sqrt{\frac{\sqrt[3]{\nabla}}{D}} - \Delta w$

(4.46)

trong đó n - số chân vịt trên tàu, D - đường kính chân vịt, (m),

$\Delta w = 0,1(F_n - 0,2)$ áp dụng cho trường hợp $F_n > 0,2$,

∇ - thể tích chiếm nước của tàu, (m³).

Công thức Schoenherr

$$w = 0,10 + 4,5 \frac{C_V C_P (B/L)}{(7 - C_V)(2,8 - 1,8 C_P)} T + \frac{1}{2} \left(\frac{E}{T} - \frac{D}{B} - k\eta \right) \quad (4.47)$$

trong đó: L - chiều dài tàu, B - chiều rộng tàu, T - chiều chìm trung bình,

D - đường kính chân vịt, E - chiều cao tính từ mặt đáy tàu đến trục chân vịt,

C_V - hệ số đầy lặn trụ đứng, C_P - hệ số đầy lặn trụ,

η - góc nghiêng chân vịt về sau, tính bằng rad.,

k - hệ số, $= 0,3$ cho sóng lái thông thường, $= 0,5 \div 0,6$ cho sóng lái bị thay đổi hình dạng đột ngột.

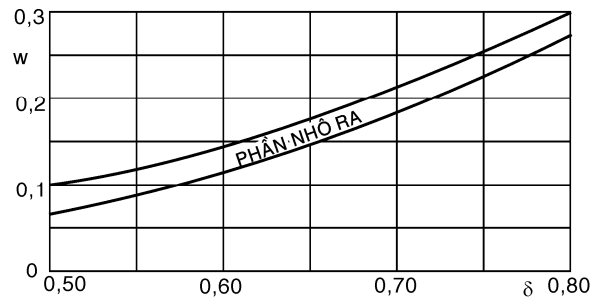
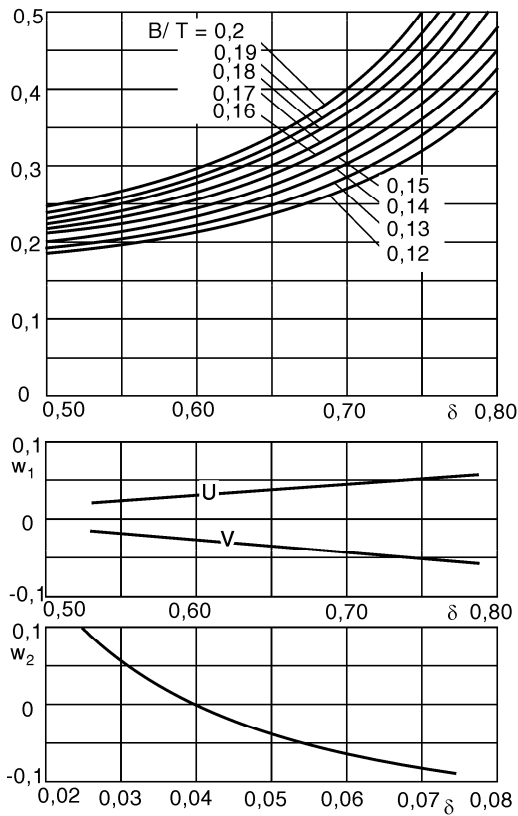
Công thức Harvald

Công thức thích hợp cho tự động hóa tính toán, áp dụng cho các kiểu tàu hiện đại và cả tàu truyền thống, chuẩn mực được Harvald tổng hợp có dạng:

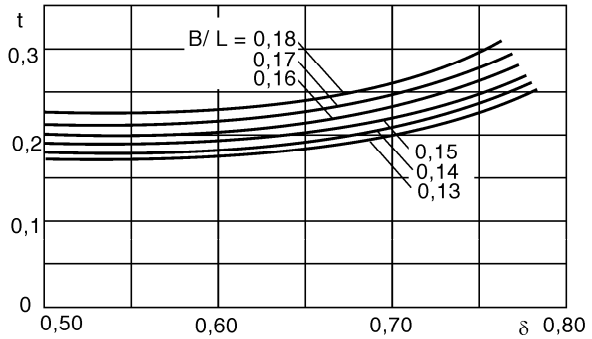
$$w = w_1 + w_2 + w_3 \quad (4.48)$$

$$t = t_1 + t_2 + t_3 \quad (4.48)$$

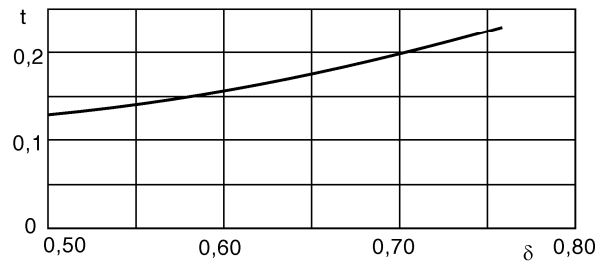
trong công thức (4.73) và (4.74) w_1 , t_1 là hàm của B/L và C_b ; w_2 , t_2 là hàm của hình dáng vỏ tàu; w_3 , t_3 là các hiệu chỉnh theo đường hình chân vịt.



Hệ số dòng theo tàu hai chân vịt



Hệ số lực hút



Hệ số t cho tàu hai chân vịt

Hình.4.14 Hệ số dòng theo trong công thức Harvald

Hàm phục vụ công việc tự động thiết kế:

$$w_1 = \sum_{i=1}^M \sum_{k=1}^N A_{N(i-1)+j} (C_B)^{k-1} \left(\frac{B}{L}\right)^{i-1} \quad (4.49)$$

trong đó $M = 3$; $N = 4$.

Các hệ số A_m , $m = 1, 2, \dots, 12$ mang giá trị tại bảng 4.20:

Bảng 4.20

m	A_m	m	A_m
1	-17,5871	7	1978,4545
2	91,8462	8	-1080,2286
3	-155,5795	9	-725,1457
4	85,8663	10	3744,6861
5	228,2286	11	-6300,7771
6	-725,1457	12	3452,9702

$w_2 = -0,06474 + 0,1524C_B$ áp dụng cho tàu sườn chữ U

$w_2 = -0,06656 + 0,1559C_B$ áp dụng cho tàu sườn chữ V

$$\text{và } w_3 = 0,4645 - 20,7626(D/L) + 288,1399(D/L)^2 - 1448,7956(D/L)^3 \quad (4.50)$$

Công thức do Holtrop và Manen đề nghị.

Tàu một chân vịt.

$$w = C_9(1 + 0,015C_L)[(1+k)C_F + C_A] \frac{L}{T_A} \left(0,050776 + 0,93405C_{11} \frac{[(1+k)C_F + C_A]}{(1,315 - 1,45C_P + 0,0225LCB)} \right) \\ + 0,27915(1 + 0,015C_L) \sqrt{\frac{B}{L(1,315 - 1,45C_P + 0,0225LCB)}} + C_{19}(1 + 0,015C_L)$$

Tàu hai chân vịt

$$w = 0,3095C_B + 10C_B[(1+k)C_F + C_A] - 0,23 \frac{D}{\sqrt{B \times T}} \quad (4.51)$$

trong đó: $C_9 = C_8$ ($C_8 < 28$) = $32 - 16/(C_8 - 24)$ ($C_8 > 28$);

$$C_8 = BS/(LDT_A) \text{ (} B/T_A < 5 \text{)} = S(7B/T_A - 25)/(LD(B/T_A - 3)) \text{ (} B/T_A > 5 \text{)};$$

$$C_{11} = T_A/D \text{ (} T_A/D < 2 \text{)} = 0,083333(T_A/D) + 1,3333 \text{ (} T_A/D > 2 \text{)}$$

$$C_{19} = 0,12997/(0,95 - C_B) - 0,11056/(0,95 - C_P) \text{ (} C_P < 0,7 \text{)}$$

$$= 0,18567/(1,3571 - C_M) - 0,71276 + 0,38648C_P \text{ (} C_P > 0,7 \text{)}$$

Sườn tàu	chữ V	thông thường	chữ U
C_1	-10	0	+10

Hệ số dòng theo cho tàu nội địa

Công thức Papiel dùng cho tàu nội địa:

$$w = 0,11 + \frac{0,16}{n} (C_B)^n \sqrt{\frac{3\sqrt{V}}{D}} - \Delta w \quad (4.52)$$

Hệ số lực hút cho tàu đi biển

$$t = Kw \quad (4.53)$$

trong đó $K = 0,5 \div 0,7$ cho tàu có bánh lái dạng thoát nước.

Công thức tính hệ số lực hút t theo Harvald:

$$t = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^4 C_m (i-1) + j (CB)^{j-1} \left(\frac{B}{L} \right)^{i-1} \quad (4.54)$$

với C_m mang giá trị sau, bảng 4.21.

Bảng 4.21

TT	C_m	TT	C_m	TT	C_m	TT	C_m
1	1,6074	7	-243,9802	4	-7,6262	10	-438,7333

2	-8,2659	8	138,2275	5	-25,6256	11	746,3948
3	13,9601	9	84,4206	6	141,1943	12	-414,5098

Công thức tính t do Holtrop phân tích và đúc kết có dạng như sau.

Tàu một chân vịt.

$$t = \frac{0,25014(B/L)^{0,28956}(\sqrt{BT}/D)^{0,2624}}{(1 - C_P + 0,0225LCB)^{0,01762}} + 0,0015C_L \quad (4.55)$$

$$\text{Tàu hai chân vịt: } t = 0,325C_B - 0,18885 \frac{D}{\sqrt{BT}} \quad (4.56)$$

Hệ số lực hút cho tàu nội địa:

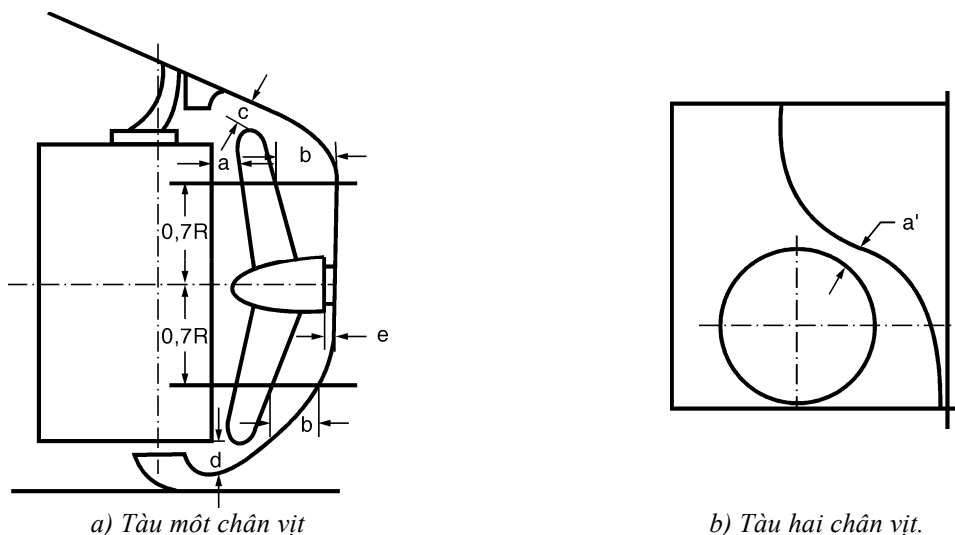
Tàu một chân vịt: $t = 0,6w(1 + 0,67w)$

Tàu hai chân vịt: $t = 0,8w(1 + 0,25w)$ (4.57)

Tàu một chân vịt đuôi transom: $w = 0,3C_B + 10C_V C_B - 0,1$; $t = 0,1$ (4.58)

Bố trí chân vịt ở vòm đuôi tàu

Nguyên tắc chung bố trí chân vịt là đặt đường trục càng sâu càng tốt, nếu điều kiện cho phép. Cố gắng để trong mọi trường hợp chiều chìm của trục H_S lớn hơn đường kính D chân vịt.



Hình.4.15 Bố trí chân vịt sau vòm đuôi

Vị trí tương đối giữa các cánh chân vịt và vòm đuôi tàu được định cụ thể cho mỗi dạng tàu. H.4.35 trình bày cách bố trí chân vịt trên tàu một chân vịt và tàu hai chân vịt.

Khoảng cách tương đối, so với D , như sau:

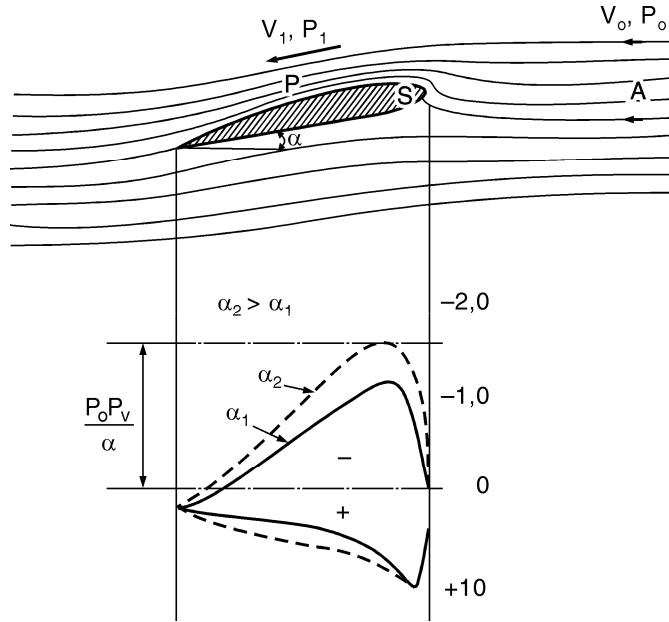
$$\frac{a}{D} = 0,1; \frac{b}{D} = 0,15; \frac{c}{D} = 0,1; \frac{d}{D} = 0,04; \frac{a'}{D} = 0,2; \frac{b'}{D} = 0,12.$$

4.6 XÂM THỰC CHÂN VỊT TÀU

Xâm thực cánh và củ chân vịt gây ra nhiều hậu quả không lợi cho hoạt động chân vịt và ngay cả an toàn của chân vịt.

Sủi bọt profil

Hiện tượng sủi bọt có thể xảy ra ngay trên profil cánh nếu tại dòng chảy bao cánh xuất hiện vùng áp suất thấp hơn hơi bão hòa. Hình 5.36 trình bày dòng chảy bao profil ngậm trong nước ở độ sâu H_s . Phương trình Bernoulli áp dụng cho trường hợp này có dạng:



Hình 4.16

$$p_0 + \frac{\rho \cdot V_0^2}{2} = p_1 + \frac{\rho \cdot V_1^2}{2} \quad (4.59)$$

trong đó: V_0 - vận tốc dòng đến cánh,

p_0 - áp suất tĩnh tại mức nước H_s , trong dòng, xa trước cánh,

V_1, p_1 - vận tốc và áp suất tại điểm trên cánh,

$$p_1 = p_0 - 0,5\rho \cdot (V_1^2 - V_0^2) \quad (4.60)$$

Tách vế phải của phương trình để khảo cứu, có thể nhận thấy rằng, khi thành phần $0,5\rho \cdot (V_1^2 - V_0^2)$ tăng, áp suất cực bộ tại điểm p_1 bị giảm. Giả sử $V_0 = \text{const}$ trong quá trình khảo cứu, V_1 tăng sẽ làm cho thành phần này tăng, và là tăng theo hàm bậc hai. Nếu V_1 lớn đến mức đủ, thành phần này sẽ vượt quá giới hạn p_0 , dẫn đến khả năng giả định $p_1 < p_0$, hoặc đến mức áp suất tại điểm P_1 đang xét giảm đến giá trị dưới 0. Trong chất lỏng không thể kéo dài tình trạng giảm áp suất, và cũng không có hiện tượng áp suất âm, bởi vậy khi áp suất giảm đến giới hạn nhất định, các phần tử nước sát mặt cánh tách khỏi mặt cánh làm xuất hiện các vùng chân không. Giới hạn áp suất để xảy ra sủi bọt không khác xa áp suất hơi bão hòa của nước.

Điều kiện sủi bọt như sau:

$$p_1 = p_0 - 0,5\rho \cdot (V_1^2 - V_0^2) \leq p_d \quad (4.61)$$

$$\frac{p_0 - p_d}{0,5\rho \cdot V_1^2} \leq \left(\frac{V_1}{V_0} \right)^2 - 1 \quad (4.62)$$

Ký hiệu số sủi bọt bằng tỉ lệ giữa áp suất tĩnh và áp suất động, từ công thức có thể viết:

$$\sigma = \frac{p_0 - p_d}{0,5\rho V_1^2}, \text{ gọi là số sủi bọt,}$$

$$\text{và} \quad K = \left(\frac{V_1}{V_0} \right)^2 - 1, \text{ gọi là số loăng,} \quad (4.63)$$

điều kiện sủi bọt được viết:

$$\sigma \leq K \quad (4.64)$$

Số sủi bọt phụ thuộc vào áp suất tĩnh ở tử số và áp suất động ở mẫu số. Nếu áp suất tĩnh không đổi, khi vận tốc dòng cục bộ tăng dẫn đến áp suất cục bộ giảm, đồng thời số sủi bọt giảm nhanh, khả năng sủi bọt xảy ra sẽ lớn.

Số loăng chỉ phụ thuộc vào tỉ lệ giữa vận tốc cục bộ và vận tốc dòng, tức là phụ thuộc vào hình dáng profil và góc tấn của profil tại thời điểm đó. Sủi bọt xảy ra đầu tiên quanh điểm áp suất thấp nhất, tức là nơi vận tốc lớn nhất. Với các profil thường gặp, khi góc tấn dương (+) số loăng lớn nhất tại mặt hút, gần mép dẫn. Các bong bóng khí xuất hiện đầu tiên tại vùng này. Trường hợp $\alpha = 0$ sủi bọt xảy ra đầu tiên tại mặt hút gần mép thoát, còn với $\alpha < 0$ sủi bọt đầu tiên sẽ xuất hiện tại vùng gần mép dẫn, song ở mặt đẩy.

Sủi bọt chân vịt

Chân vịt gồm củ và các cánh, bởi vậy trong khi làm việc trong nước cả cánh và củ đều có khả năng bị xâm thực. Chân vịt tiếp tục quay, các bọt khí theo đuôi nhau tách khỏi mặt đầu cánh và lơ lửng trong nước một thời gian ngắn. Khi chân vịt quay với vận tốc giới hạn nhất định hiện tượng sủi bọt có thể bao trùm cả mặt hút của cánh và các bọt khí từ đây thoát ra liên tục. Nếu vận tốc quay và vận tốc tiến của chân vịt tăng nữa, hiện tượng sủi bọt có khả năng lây sang cả mặt đẩy.

Để ngăn ngừa sủi bọt và các hậu quả xấu của nó có thể sử dụng các biện pháp cần thiết.

1- Dùng profil cánh với phân bố áp lực thủy động đều, tránh các đỉnh áp suất. Loại profil hình cong như lưỡi liềm, lõm ở mặt đẩy có khả năng chống sủi bọt tốt hơn loại profil cánh máy bay.

2- Để đảm bảo lực đẩy đủ lớn trong mọi trường hợp cần thiết phải tăng diện tích mặt cánh bằng cách tăng chiều rộng cánh, cùng với biện pháp giảm chiều dày cánh. Cách làm này trong thực tế là biện pháp giảm góc tấn và làm cho phân bố áp suất trên mặt hút điều hòa hơn. Phương pháp này có thể dẫn đến việc tăng sức cản cánh, làm thấp hiệu suất chân vịt.

3- Khi tỉ lệ diện tích mặt đĩa không đổi, nếu giảm số cánh, chiều rộng cánh sẽ lớn hơn, tỉ lệ t/b sẽ nhỏ hơn, và như vậy phân bố áp lực ở mặt hút sẽ đều hơn.

4- Tăng chiều chìm trục chân vịt làm cho giá trị áp suất tĩnh trên tử số của số sủi bọt lớn lên, số sủi bọt lớn theo, điều kiện làm việc của chân vịt được đẩy ra xa hơn giới hạn của sủi bọt.

Tiêu chuẩn tránh sủi bọt khi thiết kế chân vịt

$$\text{Số sủi bọt} = \frac{p_{st}}{p_{dyn}}$$

trong đó p_{st} - được hiểu chung là áp suất tĩnh, đo tại vị trí tham chiếu ví dụ trục chân vịt, tại bán kính r chân vịt đang nằm trong nước, còn p_{dyn} - áp suất động đo tại vị trí tham chiếu trong dòng chất lỏng.

Số sủi bọt tính theo vận tốc dòng tự do: $\sigma = \frac{p_0 - p_v}{0,5\rho \cdot V_A^2}$

trong đó: p_v - áp suất hơi bão hòa,

V_A - vận tốc tiến của chân vịt bằng vận tốc dòng tại vị trí xa trước chân vịt.

Số sủi bọt tính theo vận tốc vòng: $\sigma = \frac{p_0 - p_v}{0,5\rho \cdot (\pi \cdot r \cdot nD)^2}$ (4.65)

trong đó D - đường kính chân vịt.

Số sủi bọt trung bình: $\sigma = \frac{p_0 - p_v}{0,5\rho \cdot [V_A^2 + (\pi \cdot r \cdot nD)^2]}$ (4.66)

Tiêu chuẩn tránh sủi bọt của bể thử Wageningen $\tau = f(\sigma)$

trong đó: số sủi bọt dạng tính theo dòng tự do: $\sigma = \frac{p_0 - p_v}{0,5\rho \cdot V_A^2} = \frac{p_a + H_S \gamma - p_v}{0,5\rho \cdot V_A^2}$ (4.67)

p_a - áp suất khí quyển, tính tại mặt thoáng nước, (10330 kG/m²),

H_S - chiều chìm đến trục chân vịt, đo bằng (m), γ - trọng lượng riêng của nước ($\rho \cdot g$), (kG/m³),

p_v - áp suất hơi bão hòa, (kG/m²) đọc tại bảng 5.47.

Hệ số tải trọng: $\tau = \frac{T/A_C}{0,5 \cdot \rho \cdot V_A^2}$ (4.68)

Từ đồ thị của bể thử Wageningen mô phỏng đường hạn chế theo tiêu chuẩn tránh sủi bọt dưới dạng:

$$\frac{T}{A_C} = 1,84(p_0 + H_S \gamma - p_v)^{3/4} V_A^{1/2} \quad (4.69)$$

trong công thức này T tính bằng (kG), A_C tính bằng (m²), còn V_A bằng (m/s).

Mặt khác diện tích mặt chiếu của chân vịt nhóm B-Wageningen được tính xấp xỉ

$$A_C = (1,067 - 0,229 \cdot \frac{P}{D}) \frac{A_e \pi \cdot D^2}{A_0 \cdot 4}.$$

Tiêu chuẩn sủi bọt Burrill

Tiêu chuẩn tránh sủi bọt được Burrill thống kê, áp dụng cho các loại tàu khác nhau. Burrill sử dụng số sủi bọt trung bình, theo cách sau:

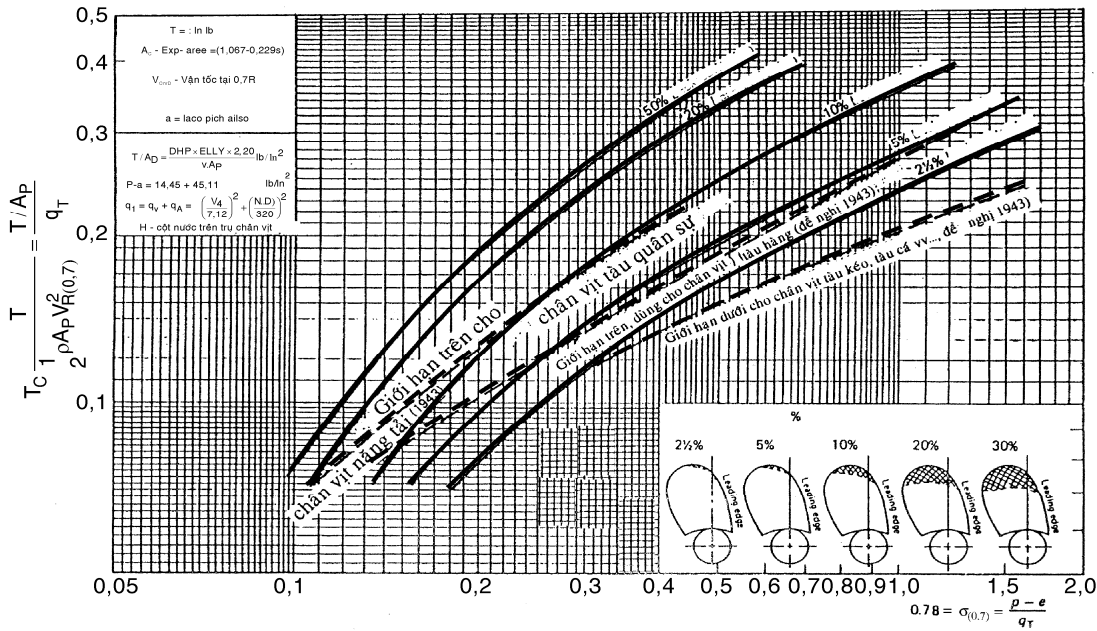
$$\sigma = \frac{p_0 - p_v}{0,5\rho \cdot [V_A^2 + (\pi \cdot r \cdot nD)^2]} = \frac{p_a + H_S \gamma - p_v}{0,5\rho \cdot [V_A^2 + (0,7 \cdot \pi \cdot nD)^2]} \quad (4.70)$$

Hệ số lực đẩy τ tính theo công thức:

$$\tau = \frac{T}{0,5\rho \cdot A_C \cdot V_{0,7}^2} \quad (4.71)$$

Đồ thị được trình bày dưới dạng:

$$\tau = \frac{T/A_C}{0,5 \cdot \rho \cdot V_{0,7}^2} = f(\sigma_{0,7}) = A = \int_0^c tdc \quad (4.72)$$



Hình 4.17 Đồ thị Burrill

Tiến hành kiểm tra tránh sủi bọt trên đồ thị Burrill theo thứ tự sau:

- 1- Xác định số sủi bọt trung bình, $\frac{p_0 - p_v}{0,5 \rho \cdot V_{0,7}^2}$
- 2- Tương ứng với số sủi bọt trung bình chọn giá trị của $\tau = \frac{T/A_C}{0,5 \rho \cdot V_{0,7}^2}$,
- 3- Kiểm tra diện tích tối thiểu của A_C nhằm tránh sủi bọt:

$$A_C \geq \frac{T}{0,5 \rho \cdot V_{0,7}^2 \times \left[\frac{T/A_C}{0,5 \rho \cdot V_{0,7}^2} \right]} \quad (4.73)$$

Ví dụ 4.1: Kiểm tra diện tích cánh chân vịt tàu kéo theo tiêu chuẩn tránh sủi bọt của Burrill. Kích thước tàu kéo: $L = 23,9\text{m}$; $B = 6,4\text{m}$; $H = 3,1\text{m}$; mớn nước lái $Tl = 2,82\text{m}$, lượng chiếm nước 225T. Máy chính của tàu công suất 800 PS; $N = 250$ v/ph.

Chân vịt được thiết kế cho chế độ kéo, $V_T = 5$ HL/h.

Chiều chìm đến trục chân vịt $H_S = 2,0\text{m}$.

Chân vịt thuộc nhóm B4.55, $D = 2,39\text{m}$; $P/D = 0,53$.

Hệ số dòng theo $w = 0,13$. Áp suất hơi bão hòa đọc từ bảng 5.47 $p_v = 240 \text{ kG/m}^2$.

Tại $V_T = 5 \text{ HL/h}$ lực đẩy T của chân vịt 8850 kG. Vận tốc tính toán $V_{0,7}$ tính theo công thức: $V_{0,7} = \sqrt{V_p^2 + \left(\frac{2\pi \cdot N}{60} \times \frac{0,7}{2} \times D \right)^2}$

trong đó $V_p = 0,514V_T(1 - 0,13) = 2,24 \text{ m/s}$, $V_{0,7} = \sqrt{485,42}$.

Số sủi bọt trung bình:

$$\sigma_{0,7} = \frac{p_a + H_{S\gamma} - p_v}{0,5\rho \cdot [V_A^2 + (0,7 \cdot \pi \cdot nD)^2]} = \frac{10330 + 2,0 \times 1024 - 240}{0,5 \times 104,5 \times 485,42} = 0,48$$

Căn cứ đồ thị Burrill có thể đọc giá trị hệ số lực tương ứng: $\tau \equiv \frac{T/A_C}{0,5\rho \cdot V_{0,7}^2} = 0,18$.

Diện tích tối thiểu của diện tích chiếu chân vịt phải là:

$$A_C \geq \frac{T}{0,5\rho \cdot V_{0,7}^2 \left[\frac{\frac{T}{A_C}}{0,5 \cdot \rho \cdot V_{0,7}^2} \right]} = \frac{8850}{25363,2 \times 0,18} = 1,94 \text{ m}^2$$

Trong khi đó diện tích thật của mặt chiếu chân vịt là:

$$A_C = (1,067 - 0,229 \cdot \frac{P}{D}) \times \frac{Ae}{A_0} \times \frac{\pi \cdot D^2}{4} = 2,34 \text{ m}^2.$$

Chân vịt thiết kế đảm bảo tránh sủi bọt khi khai thác.

4.7 ĐỘ BỀN CÁNH CHÂN VỊT

Cánh chân vịt chịu tác động đồng thời lực thủy động thay đổi cường độ, hướng trong mỗi vòng quay và lực ly tâm phụ thuộc phân bố khối lượng và tần suất quay chân vịt. Dưới tác động lực trong củ và các cánh xuất hiện trạng thái ứng suất phức tạp, bao gồm ứng suất do uốn, do kéo, nén, xoắn. Chân vịt làm việc trong trường tốc độ không điều hòa nên ngoại lực tác động lên nó thay đổi ngay trong mỗi vòng quay chân vịt, giá trị ngoại lực thay đổi tùy thuộc vị trí chân vịt.

Mô hình Taylor: cánh chân vịt như dầm conson, ngàm tại củ. Lực đẩy của chân vịt được phân bố theo qui luật do lý thuyết dòng xoáy định. Dạng giản đơn nhất qui luật phân bố viết như sau:

$$Y = K \left(\frac{r}{R} \right)^m \left[1 - \left(\frac{r}{R} \right)^n \right]^p \quad (4.74)$$

trong đó K không đổi cho mỗi loại chân vịt, các số mũ còn lại có thể là: $m = 2$; $n = 1$; $p = 0,5$.

Lực tiếp tuyến phân bố đều cho mặt cắt.

Thủ tục tính ứng suất trong cánh áp dụng cho từng mặt cắt. Trong mô hình tính dầm conson mặt cắt biến hình sang mặt cắt ngang dầm, cách gốc tọa độ r .

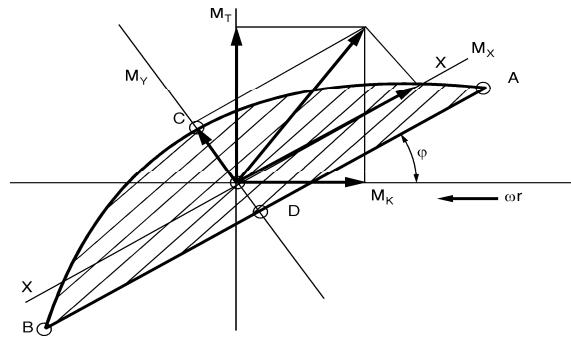
Tại mặt cắt r_i momen uốn được tính theo công thức:

$$\text{do lực dọc trục gây ra: } M_T = \int_{r_i}^R \left(\frac{dT}{dr} \right) (r_i - r_0) dr \quad (4.75)$$

$$\text{do lực tiếp tuyến gây ra: } M_K = \int_{r_i}^R \left(\frac{dK}{dr} \right) (r_i - r_0) dr \quad (4.76)$$

trong đó r_0 = bán kính củ chân vịt.

Như đã nêu trong giả thiết về cánh, tại r mặt cắt cánh dạng profil, chiều dày t nhỏ hơn nhiều khi so với chiều rộng b , do vậy có thể coi một trục chính của tiết diện song song với đường sinh mặt cắt, còn trục kia vuông góc.



Hình 4.18 Lực thủy động trên phần tử cánh

$$\text{Momen tổng cộng: } M = \sqrt{M_T^2 + M_K^2} \quad (4.77)$$

Hình chiếu momen M trên các trục Ox và Oy :

$$M_x = M_T \cdot \cos \varphi + M_K \cdot \sin \varphi \quad (4.78)$$

$$M_{xy} = M_T \cdot \sin \varphi - M_K \cdot \cos \varphi \quad (4.79)$$

$$M_{xy} = (M_T + M_c) \cdot \sin \varphi - M_K \cdot \cos \varphi \quad (4.80)$$

Kiểm tra độ bền theo công thức Taylor

Diện tích và môđun chống uốn của mặt cắt:

$$A = \int_0^c t dc \quad (4.81)$$

$$W = \frac{2 \int_0^c [3y + t + t^2] t dc \int_0^c t dc}{3 \int_0^c (2y + t) t dc} - \frac{1}{2} \int_0^c (2y + t) t dc \quad (4.82)$$

trong đó t - chiều dày mặt cắt, y - tọa độ mặt đập.

Trong tính toán thực tế có thể dùng các công thức gần đúng:

$$W_X = \frac{4}{35} \cdot l \cdot e^2; \quad W_Y = \frac{1}{15} \cdot l^2 \cdot e \quad (4.83)$$

trong đó $l = 0,45(A_e/A_0) \cdot D$ và $e = 0,715 \cdot t_0 \cdot D$

Lực ly tâm trong các công thức của Taylor nhận ở dạng:

$$C = \frac{G}{g} \cdot \frac{(2\pi \cdot n \cdot r_t)^2}{r_t} = \frac{G}{g} \cdot 4\pi^2 n^2 \cdot r_t \quad (4.84)$$

trong đó G - trọng lượng phần cánh nằm ngoài mặt cắt đang tính, n - vòng quay chân vịt trong một giây, r_t - bán kính trọng tâm phần cánh nằm ngoài mặt tính toán, tính bằng biểu thức:

$$r_t = 0,3(R - r_h) + r_h \quad (4.85)$$

Ứng suất kéo do lực ly tâm gây ra: $\sigma_K = \frac{C}{A} \quad (4.86)$

Diện tích mặt cắt A nhận bằng $A = 0,7 \cdot b \cdot e$ cho trường hợp profil cánh.

Tại các chân vịt thường gặp ứng suất lớn nhất xuất hiện ở mặt cắt gần củ.

Tính cho điểm A.

$$\sigma_A = \frac{M_x}{W_x(A)} + \frac{M_y}{W_y(A)} + \sigma_K \quad (4.87)$$

Tính cho điểm B.

$$\sigma_B = \frac{M_x}{W_x(B)} + \frac{M_y}{W_y(B)} + \sigma_K \quad (4.88)$$

Công thức tính áp dụng cho hai điểm C và D.

$$\sigma_C = \frac{M_x}{W_x(C)} + \sigma_K ; \quad \sigma_D = \frac{M_x}{W_x(D)} + \sigma_K \quad (4.89)$$

Mô hình tính sẽ giản đơn hơn nữa nếu coi dT/dr tăng tuyến tính với r , còn dK/dr là giá trị không đổi. Mô hình xoáy của dòng được chuyển về dạng $\Gamma = \text{const}$ dọc cánh. Theo những đổi thay đó công thức Taylor giờ đây có dạng:

$$M_T = 4 \frac{T}{Z} \cdot (p_T \cdot R - r_h) \quad (4.132); \quad M_K = \frac{M}{Z \cdot q \cdot R} \cdot (q_T \cdot R - r_h) \quad (4.90)$$

trong đó: $p_T = \frac{2(R^2 + R_K + r_h^2)}{3R(R + r_h)} \quad (4.134); \quad q_T = \frac{R + r_h}{2R} \quad (4.91)$

Kiểm tra độ bền theo công thức Romson

Phương pháp Romson tính đến ảnh hưởng công suất máy chính, tần suất quay chân vịt trong nước, hiệu suất chân vịt và tốc độ tiến của chân vịt trong môi trường thực tế. Ứng suất trong mỗi mặt cắt cánh được coi là tổng đại số ứng suất do momen uốn σ_1 và ứng suất σ_2 do lực ly tâm: $\sigma = \sigma_1 + \sigma_2$.

Công thức tính ứng suất σ_1 do momen uốn gây.

Ứng suất kéo: $\sigma_{1,K} = \frac{C_A \cdot P_D}{a_K \cdot b \cdot e^2 \cdot Z \cdot N} \cdot \left(C_B + \eta_p \cdot \frac{101,3}{J} \right) \cdot X \quad (4.92)$

Ứng suất nén: $\sigma_{1,N} = \frac{C_A \cdot P_D}{a_N \cdot b \cdot e^2 \cdot Z \cdot N} \cdot \left(C_B + \eta_p \cdot \frac{101,3}{J} \right) \cdot X \quad (4.93)$

Công thức tính ứng suất σ_2 do lực ly tâm gây.

$$\text{Ứng suất kéo: } \sigma_{2,K} = \frac{(N.D)^2}{10^4} \cdot \left(\frac{A.C}{a_K} + \varepsilon_0 \right) \quad (4.94)$$

$$\text{Ứng suất nén: } \sigma_{2,N} = \frac{(N.D)^2}{10^4} \cdot \left(\frac{A.C}{a_N} - \varepsilon_0 \right) \quad (4.95)$$

trong đó: P_D - công suất dẫn đến trục chân vịt, tính bằng (PS),

b - chiều rộng cánh tại r , (m); e - chiều dày cánh tại r , (m),

a_K và a_N - hệ số mô đun mặt cắt, đọc theo bảng sau; ε_0 - hệ số, đọc từ bảng 5.23.

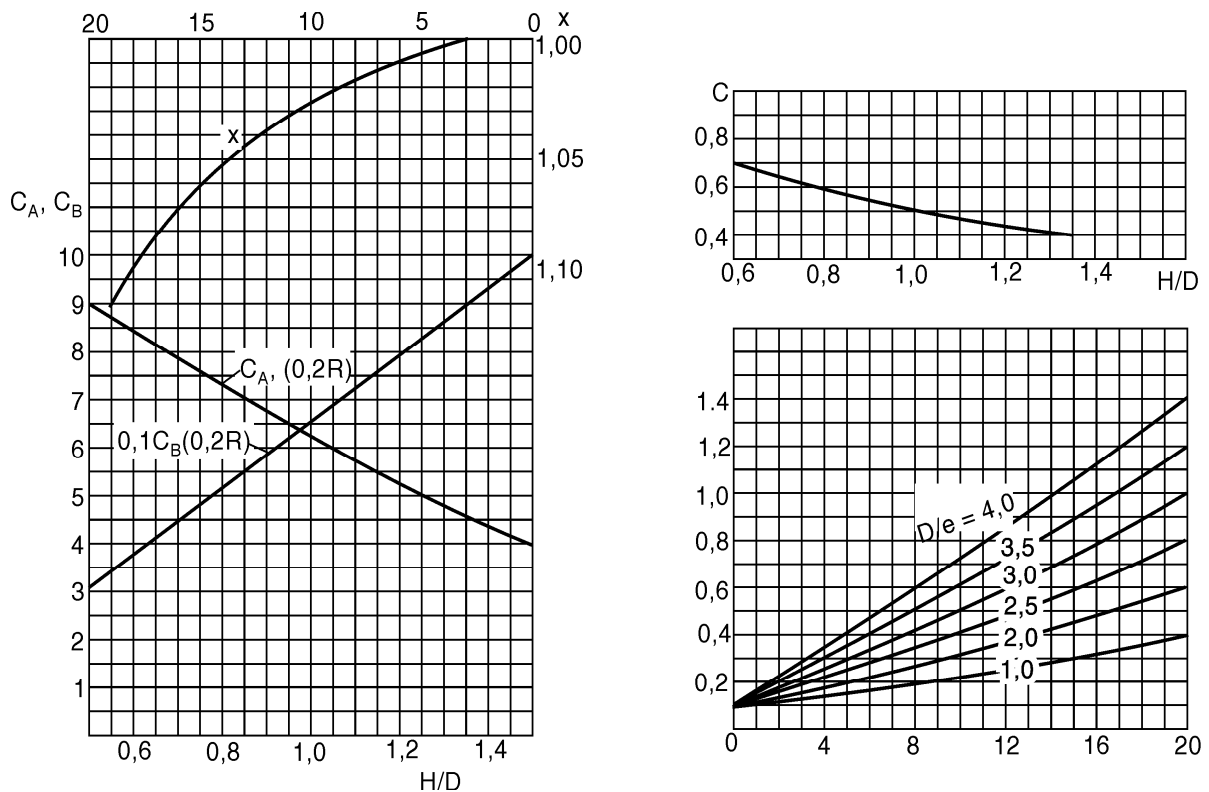
Bảng 4.23: Các hệ số dùng trong công thức Romson

Hệ số	Mặt cắt		Ghi chú
	0,2R	0,6R	
a_K	0,096	0,100	dùng khi kéo
a_N	0,086	0,800	dùng khi nén
ε_0	$\pm 0,580$	$\pm 0,345$	+ khi kéo, - khi nén

N - vòng quay chân vịt trong một phút; η_p - hiệu suất chân vịt, $J = Vp/(n.D)$ - hệ số tiến của chân vịt,

D - đường kính chân vịt, (m), Z - số cánh chân vịt.

Các hệ số C_A , C_B , X miêu tả đặc trưng phân bố lực đẩy, lực vòng trên cánh được trình bày tại đồ thị trên hình 4.39. Các hệ số A , C đặc trưng cho điểm đặt lực ly tâm, đọc tại hình 4.39.

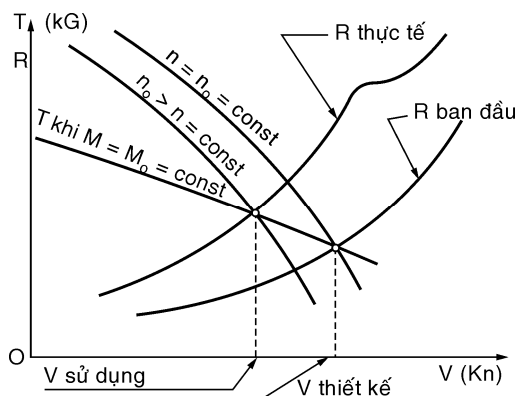


Hình 4.19

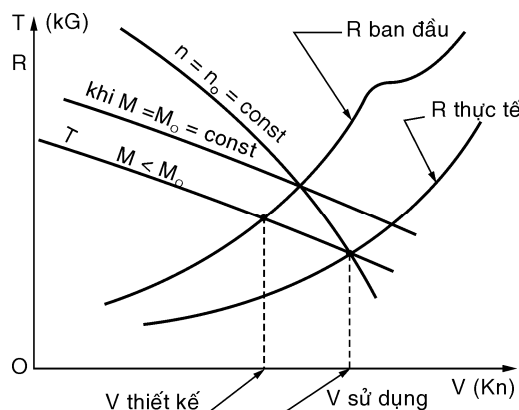
4.8 THIẾT KẾ CHÂN VỊT TÀU THỦY CÁNH CỐ ĐỊNH

Thiết kế chân vịt cánh cố định tiến hành theo hai cách.

Cách thứ nhất, hình 4.20, chân vịt được thiết kế cho tàu làm việc trong điều kiện lý tưởng: vỏ tàu không nhám, sức cản tàu nhỏ nhất trong chế độ khai thác, môi trường nước lý tưởng. Trong khai thác chân vịt tàu phải làm việc ở chế độ thực “nặng” hơn so với ngày đầu. Quá trình này đi từ “nhẹ” đến “nặng”.



Hình 4.20. Thiết kế theo các điều kiện lý tưởng



Hình 4.21. Thiết kế chân vịt theo máy diesel

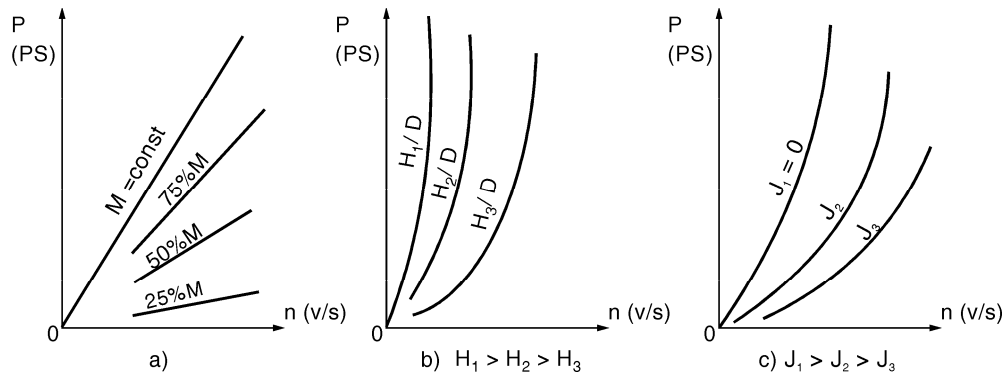
Cách thứ hai, hình 4.21, khi thiết kế máy đẩy giữ lại một lượng dự trữ lực đẩy để phòng những trường hợp tàu phải làm việc trong những điều kiện nặng hơn thông thường. Để làm theo hướng này cần xác định đầy đủ các yếu tố môi trường ảnh hưởng đến sức cản vỏ tàu và tàu nói chung trong các điều kiện làm việc. Sức cản ngoài giá trị đã tính cho thân tàu trong điều kiện lý tưởng đưa vào đường cong sức cản ngay trong giai đoạn thiết kế máy đẩy. Kết quả thống kê cho biết, sức cản gán thêm theo dạng này phải đạt $20 \div 30\%R$. Như vậy, khi thiết kế chân vịt cánh cố định, chân vịt này phải làm việc trong những điều kiện “nặng” hơn nhiều so với điều kiện thực mà nó phải chịu trong những chuyến thử đầu tiên.

Quan hệ giữa máy chính - vỏ tàu- chân vịt

Trong hệ tọa độ tần suất quay n và công suất máy P , độ lớn các đường công suất phụ thuộc vào giá trị momen quay tại chế độ đang làm việc của máy. Mặt khác để quay được trong nước với tần suất n , chân vịt cần momen quay Q tính theo công thức:

$$Q = K_Q \cdot \rho n^2 D^5 \quad (4.96)$$

Công suất máy chính P , hàm của Q , K_Q H/D , vào hệ số tốc độ tiến $J = V_p/(nD)$ và các yếu tố khác. Với trường hợp $J = \text{const}$, khi H/D tăng P tăng. Với chân vịt có tỉ lệ bước xoắn không đổi $H/D = \text{const}$, tại vận tốc tiến $J_0 = 0$, P đạt giá trị lớn nhất, sau đó khi J tăng (H.5.42), hệ số momen quay giảm dần đến 0.

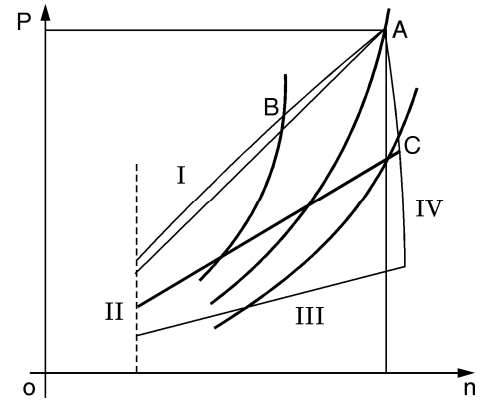


Hình 4.22. Máy chính phụ thuộc vào H/D và J chân vịt.

Công suất cần thiết để chân vịt quay được trong nước:

$$P = \frac{K_Q \rho \cdot n^2 \cdot D^5}{716,2} \cdot (60n) = \frac{K_Q \rho \cdot D^5}{11,93} \cdot n^3 \quad (4.97)$$

Đồ thị tại hình 5.43 đường I - đường đặc tính ngoài, hay là công suất được phép sử dụng của máy chính. Thông thường trên các máy diesel đường đặc tính ngoài cao hơn đường công suất vẽ cho chế độ $Q = \text{const} = \text{momen định mức}$. Đường II là hạn chế dưới của tần suất quay, mỗi máy chỉ có thể làm việc ổn định ở tần suất quay cao hơn n tối thiểu. Đường III - đường đặc tính giới hạn dưới của máy. Đường IV - đường hãm làm nhiệm vụ điều khiển không cho phép máy quá tải tần suất quay.



Hình 4.23 Quan hệ làm việc giữa máy - chân vịt.

Trong điều kiện tiêu chuẩn, tàu đạt vận tốc V_p nhất định, hệ số tiến J đạt giá trị tiêu chuẩn, chân vịt có đường kính D và bước không đổi $H/D = \text{const}$ đòi hỏi được cấp công suất P định mức ở tần suất quay định mức n , điểm làm việc của hệ thống máy - chân vịt - vỏ tàu là A. Tại đây công suất máy đạt 100% định mức, tại 100% n định mức. Khi tàu làm việc trong những điều kiện thuận lợi hơn dự tính, ví dụ chạy xuôi dòng nước, tàu chở nhẹ vv..., chân vịt chỉ đòi hỏi công suất nhỏ hơn công suất định mức của máy để đưa tàu vào hoạt động bình thường. Điểm làm việc tốt nhất của trường hợp này là C. Theo chế độ nặng tải, điểm làm việc giới hạn của trường hợp này là B, nằm trên đường momen quay định mức song tại n nhỏ hơn giá trị định mức.

Chân vịt theo chế độ chạy tự do

Theo chế độ *chạy tự do* chân vịt làm việc tại momen quay ở chế độ định mức, vòng quay máy định mức, tạo lực đẩy lớn nhất, thắng sức cản vỏ tàu, đưa tàu tiến với vận tốc nhanh nhất. Trong phạm vi tốc độ tàu từ 0 đến tốc độ khai thác công suất mà máy chính có thể cấp cho chân vịt dọc trên đường đặc tính ngoài của máy. Sau khi đạt các giá trị định mức công suất máy phục tùng đường điều khiển, theo đó vòng quay không vượt quá giới hạn cho phép, chân vịt làm việc theo chế độ $n = \text{const}$, trong khi công suất được cấp nhỏ hơn công suất định mức.

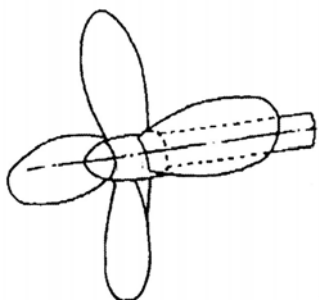
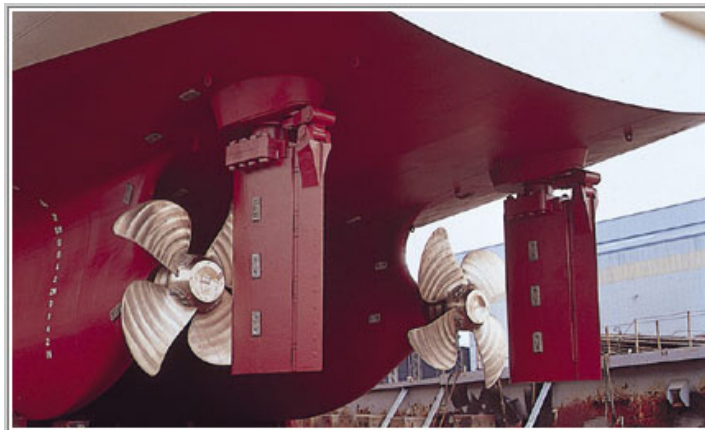
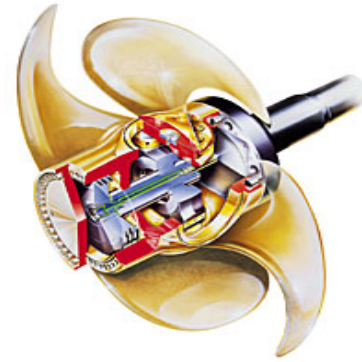
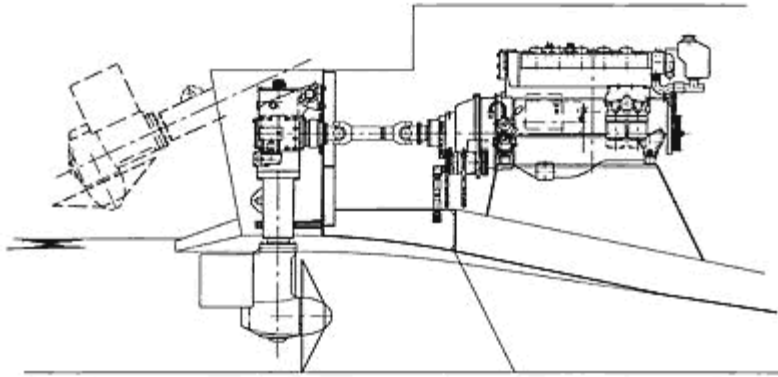
Chân vịt thiết kế theo chế độ kéo

Tàu làm nhiệm vụ kéo hoặc đẩy đòi hỏi sức kéo trên móc lớn khi kéo (đẩy) thường ở tốc độ kéo khá nhỏ. Tàu kéo trên sông thường khai thác ở phạm vi $V_T = 7 \div 8 \text{ km/h}$, tàu kéo chạy biển thường kéo ở

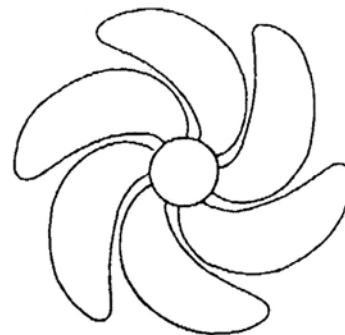
vận tốc $5 \div 7$ HL/h, tàu kéo lưới trong nghề cá thường kéo lưới cùng cá tại vận tốc $3 \div 5$ HL/h. Thiết kế chân vịt theo chế độ kéo nhằm tạo ra sức đẩy lớn nhất mà chân vịt có thể phát huy tại V_T cho trước. Trong giai đoạn vận tốc tàu nhỏ hơn V_T , máy chính làm việc theo chế độ momen quay Q định mức, chân vịt tạo lực đẩy lớn nhất.

Các chân vịt thường gặp

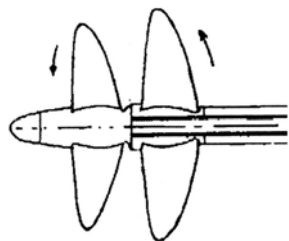
Các hình nêu tiếp giới thiệu bằng ảnh và hình các kiểu chân vịt gặp trong thực tế.



a)



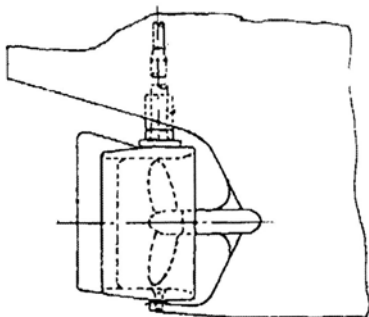
b)



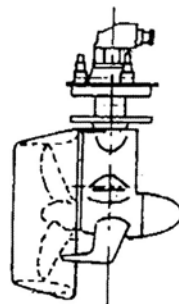
c)



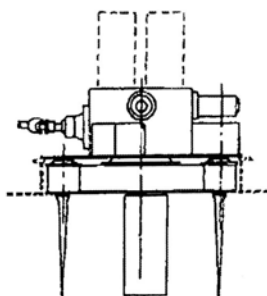
d)



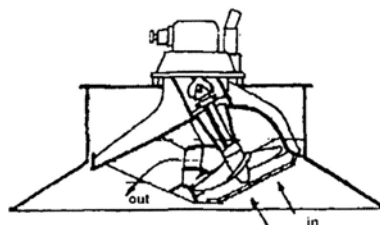
e)



f)



g)



h)

THIẾT KẾ CHÂN VỊT CÁNH CỐ ĐỊNH DỰA VÀO KẾT QUẢ THỬ MÔ HÌNH

Trường hợp 1. Thiết kế chân vịt theo chế độ chạy tự do, đường kính chân vịt không hạn chế

Chuẩn bị dữ liệu về máy tàu, vỏ tàu.

- Đường cong sức cản vỏ tàu $R = f(V_s)$, tính theo các phương pháp đủ độ tin cậy,
- Thông tin về máy chính: công suất định mức BHP, tần suất quay ứng với trường hợp công suất liên tục, lớn nhất của máy,
- Thông tin về hệ trục tàu: kiểu hộp số, tỉ số truyền,
- Các hệ số liên quan đến tác động qua lại giữa vỏ tàu và chân vịt.

Thông số cần giải:

- Thông số hình học chân vịt: D , H/D , a_e , η_p .
- Tốc độ tàu lớn nhất.

Thuận tiện hơn cả nên dùng đồ thị Taylor Bp- δ hoặc đồ thị Papmiel K_Q-J để xác định chân vịt tối ưu. Thứ tự tiến hành theo phương pháp thử lần lượt như sau.

Giả sử với máy chính đã chọn, với cỡ tàu đã có, khi lắp chân vịt với số cánh đã định, tàu có thể khai thác tại vận tốc V_1 nào đó. Giá trị V_1 không nhất thiết phải sát thực tế trong lần chọn đầu tiên. Từ V_1 bắt đầu tính giá trị của B_p , ví dụ trong hệ thống đo *Imperial* Anh-Mỹ có thể sử dụng công thức:

$$B_p = \frac{N}{V_a^2} \cdot \sqrt{\frac{P_D}{V_a}}$$

trong đó V_1 thay vào vị trí V_a khi tính.

Khi sử dụng đồ thị Papiemil các đơn vị đo đều dùng theo hệ metric, K_n tính theo công thức:

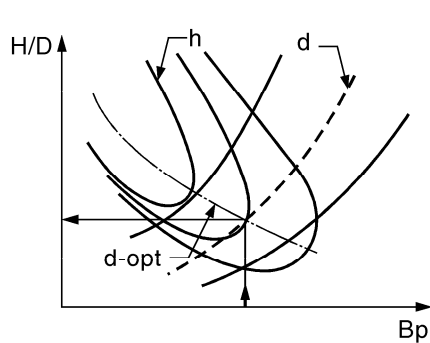
$$K_n'' = \frac{V_p}{\sqrt{n}} \cdot \sqrt[4]{\frac{V_p}{P_D}}, \quad V_1 \text{ thay vào vị trí } V_p \text{ khi bắt đầu tính.}$$

Với vận tốc đã chọn tiến hành tính các đặc trưng hình học theo thứ tự:

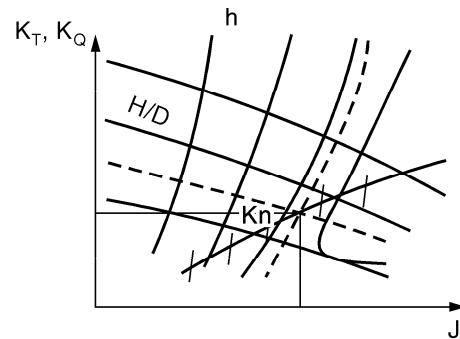
Trong hệ thống B_p - δ (H.5.44).

- Tìm giá trị tối ưu của δ trên đường tối ưu $\delta_{\text{opt}} = f(B_p)$
- Từ biểu thức $\delta = N.D/V_a$ xác định đường kính chân vịt D
- Trên đồ thị đọc giá trị của $H/D = f(B_p, \delta)$ và $\eta_p = F(B_p, \delta)$
- Tính lực đẩy của chân vịt.

THIẾT KẾ THEO CHẾ ĐỘ CHẠY TỰ DO



a) Sử dụng đồ thị B_p - δ



b) đồ thị Papiemil

Hình 4.24

Trong hệ thống đồ thị Papiemil (H.5.44b).

- Tìm giá trị tối ưu của J trên đường tối ưu $J_{\text{opt}} = f(K_n)$;
- Từ biểu thức $J = V_p/n.D$ xác định đường kính chân vịt D
- Trên đồ thị đọc giá trị của $H/D = f(K_n, J)$ và $\eta_p = F(K_n, J)$
- Tính lực đẩy của chân vịt.

So sánh lực đẩy T từ kết quả tính với sức cản vỏ tàu tại vận tốc V_1 :

$$\Delta T = \text{Lực đẩy của chân vịt} - \text{Sức cản } R = f(V_1).$$

Nếu giá trị tuyệt đối của ΔT đủ nhỏ, có thể coi đã chọn được chân vịt thỏa mãn yêu cầu. Trường hợp ΔT còn mang giá trị lớn về phía âm hay dương, cần tiếp tục phép thử bằng cách tăng hoặc giảm tốc

độ một lượng ΔV để chuyển từ V_1 sang vị trí V_2 . Các phép tính tiếp tục cho V_2 , và nếu cần tiếp tục V_3, V_4 vv... đến khi đạt tiêu chuẩn về sai số đã đề ra.

Sơ đồ thiết kế dựa vào đồ thị (H.5.44).

Bảng 5.25: Thiết kế chân vịt theo chế độ chạy tự do

a) Dựa vào đồ thị Taylor		b) Dựa vào đồ thị Papiel	
Ký hiệu & công thức	Đơn vị	Ký hiệu & công thức	Đơn vị
V_s	HL/h	V_s	HL/h
$V_a = V_s(1 - w)$	HL/h	$V_p = 0,5144 V_s(1 - w)$	m/s
$B_p = \frac{60n}{V_a^2} \sqrt{\frac{P_D}{V_a}}$	-	$K''_n = \frac{V_p}{\sqrt{n}} \sqrt[4]{\frac{V_p}{P_D}}$	-
$\delta_{opt} = f_1(B_p)$	-	$J_{opt} = f_1(K''_n)$	-
$\delta = (0,94 \div 0,96) \cdot \delta_{opt}$	-	$J = \frac{1}{(0,94 \div 0,96)} J_{opt}$	-
$D = \frac{0,305 V_a \delta}{60n}$	m	$D = \frac{V_p}{Jn}$	m
$\frac{H}{D} = f_2(B_p, \delta)$	-	$K_Q = \frac{11,936 P_D}{\rho n^3 D^5}$	-
$\eta_p = f_3(B_p, \delta)$	-	$\frac{H}{D} = f_2(J, K_Q)$	-
$T = \frac{75 P_D \eta_p}{0,515 V_a}$	kG	$\eta_p = f_3(J, K_Q)$	-
$T_e = T(1 - t)$	kG	$T = \frac{75 P_D \eta_p}{V_p}$	kG
		$T_e = T(1 - t)$	kG

Thiết kế chân vịt theo chế độ kéo

Chuẩn bị dữ liệu về máy tàu, vỏ tàu.

- Vận tốc khai thác của tàu trong chế độ kéo,
- Thông tin cần thiết về máy chính: công suất định mức BHP, tần suất quay ứng với trường hợp công suất liên tục, lớn nhất của máy,
- Thông tin về hệ trục tàu: kiểu hộp số, tỉ số truyền,
- Các hệ số liên quan đến tác động qua lại giữa vỏ tàu và chân vịt,

Thông số cần giải:

- Thông số hình học chân vịt: $a_e, H/D, \eta_p$.

Các phép tính trong phần chuẩn bị.

- Công suất dẫn đến trục chân vịt sau khi tính đến ảnh hưởng điều kiện môi trường, hiệu suất hộp số, hiệu suất đường trục $P_D = C_{mt} \cdot \eta_{hs} \cdot \eta_{dt} \cdot BHP$. Trong tài liệu này hệ số ảnh hưởng của môi trường chỉ nằm trong phạm vi $C_{mt} = 1 \div 0,8$.

- Tần suất quay chân vịt trong nước được tăng hoặc giảm $\pm 2\%$, theo hướng dẫn chung.

- Tốc độ tiến thật của chân vịt tính theo công thức:

$$V_a = V_T (1 - w), \text{ tính bằng (HL/h);}$$

$V_p = 0,5144V_a$, tính bằng (m/s).

- Hệ số Bp hoặc K_n . $Bp = \frac{60n}{V_a^2} \cdot \sqrt{\frac{P_D}{V_a}}$ hoặc $K_n = \frac{V_p}{\sqrt{n}} \cdot \sqrt[4]{\frac{V_p}{P_D}}$

Các phép tính tiếp theo thực hiện theo bảng 5.30.

Bảng 5.30: Thiết kế theo chế độ kéo

a) Dựa vào đồ thị Taylor		b) Dựa vào đồ thị Papiel	
Ký hiệu & công thức	Đơn vị	Ký hiệu & công thức	Đơn vị
$\delta = f_1(Bp)$	-	$J = f_1(K''_n)$	-
$D = \frac{0,305\delta V_a}{N}$	m	$D = \frac{V_p}{Jn}$	m
$\frac{H}{D} = f_2(Bp, \delta)$	-	$\frac{H}{D} = f_2(K''_n, J)$	-
$\eta_p = f_3(Bp, \delta)$	-	$\eta_p = f_3(K''_n, J)$	-
$T = \frac{75.P_D.\eta_p}{0,515.V_a}$	kG	$T = \frac{75.P_D.\eta_p}{0,515.V_a}$	kG
$T_e = T(1 - t)$	kG	$T_e = T(1 - t)$	kG
$Z_0 = T_e - R(V_T)$	kG	$Z_0 = T_e - R(V_T)$	kG

Trường hợp đường kính chân vịt bị hạn chế sơ đồ tính sẽ giản đơn như sau.

Trên đồ thị Taylor thực hiện các bước tính:

1- Tính Bp = $\frac{60n}{V_a^2} \cdot \sqrt{\frac{P_D}{V_a}}$ và $\delta = \frac{101,3.n.D}{V_p}$

2- Đọc từ đồ thị các giá trị: $H/D = f_1(Bp, \delta)$ và $\eta_p = f_2(Bp, \delta)$.

Khi sử dụng đồ thị Papiel thực hiện hai bước tính:

1- Xác định $K_Q = \frac{11,936P_D}{\rho.n^3 D^5} = const$ và $J = \frac{V_p}{n.D} = const$.

2- Đọc từ đồ thị các giá trị: $H/D = f_1(K_Q, J)$ và $\eta_p = f_2(K_Q, J)$.

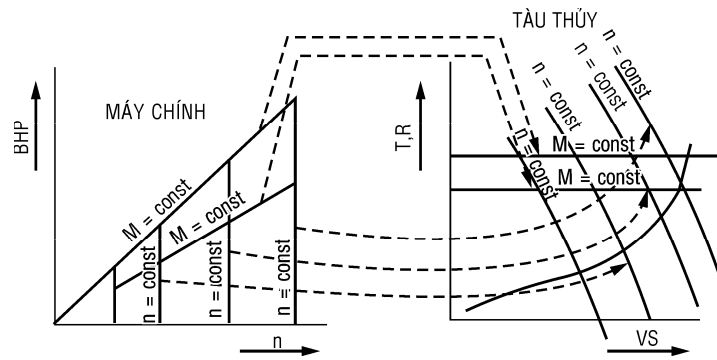
XÂY DỰNG ĐẶC TÍNH VẬN HÀNH CHÂN VỊT TÀU

Đường làm việc của chân vịt được lập trong hệ tọa độ “lực đẩy chân vịt & sức cản vỏ tàu - tốc độ tàu” tương ứng với đồ thị trong hệ tọa độ “công suất - vòng quay máy”. Đồ thị “lực đẩy chân vịt & sức cản vỏ tàu - tốc độ tàu” luôn có đồ thị đồng hành vẽ trong hệ tọa độ “công suất - tốc độ tàu”, trong đó miêu tả công suất mà chân vịt đòi được cấp phát trong mọi chế độ khai thác.

Đường làm việc của chân vịt được lập cho các chế độ làm việc của máy chính:

- 1- chế độ momen quay không đổi,
- 2- chế độ tần suất quay của máy chính không đổi.

Hình ảnh nêu quan hệ giữa công việc máy chính và chân vịt giới thiệu tại hình 5.47.



Hình 4.25. Quan hệ giữa các đường làm việc của máy chính và chân vịt tàu

Lập đường làm việc cho chế độ momen không đổi $Q = \text{const}$

Lập đường làm việc này có tính bắt buộc khi thiết kế chân vịt tàu vận tải nói riêng và tàu cùng chân vịt theo chế độ chạy tự do nói chung. Trong mọi trường hợp làm việc của máy diesel không được phép quá tải, nghĩa là công suất không thể cấp nhiều hơn giá trị đã cho trên đường đặc tính ngoài. Thực tế đường đặc tính ngoài không cách xa đường miêu tả công suất cho trường hợp momen quay bằng momen định mức. Từ đường đặc tính làm việc với $Q = \text{const}$, người dùng dễ dàng nhận biết sức kéo lớn nhất của chân vịt và yêu cầu về công suất của chân vịt trong những trường hợp thay đổi điều kiện khai thác.

a. Những thông số đã xác định.

Đường kính chân vịt $D = \dots$; Tỷ lệ bước $H/D = \dots$; Momen quay: $Q = 716,2 \cdot P_D / 60n$

b. Thứ tự tính theo bảng 5.39.

Bảng 5.39: Xác định đường đặc tính cho chế độ $Q = \text{const}$.

TT	Ký hiệu & công thức	Đơn vị	Kết quả			TT	Ký hiệu & công thức	Đơn vị	Kết quả
1	$J = \frac{V_p}{nD}$, cho trước	-	0	0,05	...	6	$N = 60 \cdot \sqrt{\frac{M}{\rho \cdot D^5 \cdot K_Q}}$	v/ph	
2	$K_T = f_1(H/D, J)$	-				7	$n = N/60$	v/gy	
3	$\eta_p = f_2(H/D, J)$	-				8	$V_s = \frac{JnD}{0,515 \cdot (1-w)}$	HL/h	
4	$K_Q = \frac{2\pi K_T \cdot \eta_p}{J}$	-				9	$P_T = \frac{K_Q \cdot \rho \cdot n^3 \cdot D^3}{11,936}$	PS	
5	$T_e = \frac{K_T}{K_Q} \cdot \frac{M}{D} \cdot (1-t)$	kG				10	$P_E = \frac{P_T}{\eta_{dt} \eta_{hs}}$	PS	

2. Xác định đường làm việc cho chế độ $n = \text{const}$

Chuẩn bị dữ liệu:

$$C_1 = \frac{n \cdot D}{0,515(1-w)}; C_2 = \rho \cdot n^2 \cdot D^4 (1-t); C_3 = \frac{\rho \cdot n^3 \cdot D^3}{11,936}; C_4 = \frac{C_3}{\eta_{dt} \eta_{hs}}$$

Từ các hệ số trên có thể viết: $V_s = C_1 J$, (HL/h); $T_e = C_2 K_T$, (kG)

$$P_E = \frac{P_T}{\eta_{dt}\eta_{hs}} = K_Q \cdot \frac{\rho \cdot n^3 D^5}{11,936 \eta_{dt}\eta_{hs}} = C_4 K_Q, \text{ (PS)}$$

Thứ tự tính thực hiện theo bảng 5.40.

Bảng 5.40: Lập đường làm việc theo chế độ $n = \text{const}$

TT	Ký hiệu & công thức	Đơn vị	Kết quả	TT	Ký hiệu & công thức	Đơn vị	Kết quả
1	J, cho trước	-	...	5	$V_s = C_1 J$	HL/h	
2	$K_Q = f_1(H/D, J)$	-		6	$T_e = C_2 K_T$	kG	
3	$K_T = f_2(H/D, J)$	-		7	$P_E = C_4 K_Q$	PS	
4	$\eta_p = \frac{K_T}{K_Q} \cdot \frac{2\pi}{J}$	-					

4.9 LẬP CHƯƠNG TRÌNH THIẾT KẾ CHÂN VỊT TÀU

Chương trình thiết kế chân vệt nhằm tự động hóa xử lý dữ liệu các mô hình đã qua thử nghiệm và tìm chọn chân vệt phù hợp nhất cho công việc đã định. Trong phần này trình bày thuật toán thiết kế chân vệt tàu vận tải và tàu kéo dựa vào mô hình chân vệt seri B, Wageningen. Thuật toán đang đề cập còn được dùng khi thiết kế chân vệt theo mẫu SSPA.

Hệ số dòng theo và lực hút

Hệ số dòng theo w tính theo công thức Harvald

$$w = w_1 + w_2 + w_3 \quad (4.98)$$

trong đó w_1 - phụ thuộc vào tỉ lệ B/L và hệ số C_B ,

w_2 - hệ số phụ thuộc vào hình dáng vòm đuôi,

w_3 - hệ số phụ thuộc vào tỉ lệ D/L của tàu.

$$w_1 = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^4 C_m (i-1) + j (CB)^{j-1} \left(\frac{B}{L} \right)^{i-1} \quad (4.99)$$

C_m tra tại bảng 5.45.

Bảng 5.45.

m	C_m	m	C_m	m	C_m	m	C_m
1	-17,5871	7	1978,4545	4	85,8663	10	3744,6861
2	91,8462	8	-1080,2286	5	228,4687	11	-6300,7771
3	-155,5795	9	-725,1457	6	-1176,9195	12	3455,9702

Hệ số w_2 áp dụng cho tàu với vòm đuôi hình chữ U:

$$w_2 = 0,1524 C_B - 0,06474 \quad (4.100)$$

Hệ số w_2 áp dụng cho tàu với vòm đuôi hình chữ V:

$$w_2 = 0,1559 C_B + 0,0656 \quad (4.101)$$

Hệ số w_3 :

$$w_3 = 0,4645 - 20,7626 \left(\frac{D}{L} \right) + 288,1399 \left(\frac{D}{L} \right)^2 - 1448,7956 \left(\frac{D}{L} \right)^3 \quad (4.102)$$

Các hệ số trên được tính cho phạm vi sau.

$$C_B = 0,5 \div 0,75; B/L = 0,13 \div 0,18; D/L = 0,025 \div 0,075$$

Công thức tính hệ số lực hút t:

$$t = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^4 A_m (i-1) + j (CB)^{j-1} \left(\frac{B}{L} \right)^{i-1} \quad (4.103)$$

với A_m mang giá trị bảng 4.46.

Bảng 4.46

m	C_m	m	C_m	m	C_m	m	C_m
1	1,6074	4	-7,6262	7	-243,9802	10	-438,7333
2	-8,2659	5	-25,6256	8	138,2275	11	746,3948
3	13,9601	6	141,1943	9	84,4206	12	-414,5098

Công thức Schoenherr:

$$w = 0,10 + 4,5 \frac{\frac{C_B C_P}{C_W} \frac{B}{L}}{(7 - 6 \frac{C_B}{C_W})(2,8 - 18 C_P)} + 0,5 \left(\frac{H_s}{T} - \frac{D}{B} - k \right) \quad (4.104)$$

trong đó: L, B, T - chiều dài, chiều rộng, chiều chìm tàu, C_B , C_P , C_W - hệ số đầy thân tàu;

H_s - chiều chìm đến trục chân vịt

$k = 0,3$ dùng cho tàu với vòm lái thông thường

$k = 0,5 \div 0,6$ dùng cho tàu với vòm lái hình cong như cái thìa.

Công thức tính hệ số lực hút Schoenherr có dạng:

$$t = C_w; \quad (4.105)$$

dạng bánh lái tàu	thủy động	tám phẳng, cạnh vát chéo	bánh lái phẳng
C	0,5 ÷ 0,7	0,7 ÷ 0,9	0,9 ÷ 1

Xác định sơ bộ đường kính chân vịt tàu

Kích thước hình học chân vịt bị hạn chế bởi vòm đuôi tàu, trong đó đường kính chân vịt tàu biển không lớn hơn $0,7 \div 0,75$ chiều chìm tàu.

Với tàu được trang bị máy chính công suất dẫn đến trục chân vịt P_D , vòng quay chân vịt n , vận tốc dòng chảy đến chân vịt V_p , có thể tính đường kính chân vịt theo công thức kinh nghiệm:

$$D = \frac{1,359}{\sqrt{n}} \sqrt[4]{\frac{P_D}{\rho \cdot V_p}} \quad (4.106)$$

trong đó: P_D đo bằng sức ngựa (PS); vòng quay n tính bằng (v/gy);

vận tốc V_p tính bằng (m/s).

Vận tốc tàu lượng chiếm nước $\Delta(t)$, trang bị máy chính công suất $P_D(PS)$, tính gần đúng như sau:

$$V_s = (K - 4CB) (1,36P_D)^{1/4} (0,102\Delta)^{1/9}, \text{ tính bằng (HL/h)} \quad (4.107)$$

trong đó $K = 7,65$ áp dụng cho tàu 1 chân vịt, $K = 7,1$ cho tàu 2 chân vịt.

Tỉ lệ diện tích mặt đĩa cần thiết

Để tránh hiện tượng sỏi bột, xâm thực cánh, tỉ lệ mặt đĩa bé nhất nằm trong hạn định:

$$\frac{Ae}{A_0} = \frac{(1,3 + 0,3Z)T}{(p_0 - p_v)D^2} + C \quad (4.108)$$

trong đó: $C = 0,2$ cho tàu 1 chân vịt; Z - số cánh; T - lực đẩy, (kG)

Công thức tính áp suất tĩnh:

$$p_0 = p_a + Hs.\gamma, (kG/m^2) \quad (4.109)$$

trong đó: p_a - áp suất khí quyển, đo tại mặt thoáng vùng nước, (kG/m²),

Hs - chiều chìm đến trục chân vịt, (m), γ - trọng lượng riêng của nước, (kG/m³).

Áp suất hơi bão hòa đọc từ bảng 4.47:

Bảng 4.47: Áp suất hơi bão hòa p_v

t (°C)	P_v (kG/m ²)	$\frac{P_v}{P_0}, (\%)$	t (°C)	P_v (kG/m ²)	$\frac{P_v}{P_0}, (\%)$
5	89	0,9	40	752	7,3
10	125	1,2	50	1258	12,2
15	174	1,5	60	2031	19,7
20	238	2,3	100	10330	100
30	433	4,2			

Đồ thị $K_T - \eta_p - J$ và $K_Q - \eta_p - J$ chân vịt seri B

Các hệ số thủy động lực trong hệ thống $K_T - \eta_p - J$ và $K_T - \eta_p - J$ được biểu diễn dưới dạng đa thức, thuận lợi cho lập trình. Các hệ số K_T, K_Q được xét như hàm của hệ số tiến J , tỉ lệ bước H/D , tỉ lệ diện tích mặt đĩa a_e , số cánh Z , tỉ lệ chiều dày cánh t/D và thỏa mãn từng phần điều kiện động lực học Reynolds.

$$Rn = \frac{b\sqrt{V_p^2 + (0,75nD)^2}}{\mu} \quad (4.110)$$

trong đó: b - chiều rộng cánh tại $r = 0,75R$; V_p - vận tốc tiến của chân vịt,

μ - hệ số nhớt động học của nước.

Trong phạm vi $Rn \approx 2 \times 10^6$, các hệ số K_T, K_Q của chân vịt nhóm B được biểu diễn bằng công thức:

$$K_T = \sum_{k,l,m,n} C_{klmn} J^k \left(\frac{H}{D} \right)^l \left(\frac{Ae}{A_0} \right)^m Z^n \quad (4.111)$$

$$K_Q = \sum_{k,l,m,n} K_{klmn} J^k \left(\frac{H}{D} \right)^l \left(\frac{Ae}{A_0} \right)^m Z^n \quad (4.112)$$

Các hệ số C_{klmn} và K_{klmn} đọc từ bảng A và bảng B, ghi cuối chương này.

Đường tối ưu của δ tìm trên đồ thị B_p - δ theo công thức của van Gunsteren:

$$\delta_{opt} = 100 \left[\frac{B_p^3}{(155,3 + 75,11 B_p^{1/2} + 36,76 B_p)} \right]^{0,2} \left[0,9365 + \frac{1,49}{Z} - \left(\frac{2,101}{Z} - 0,1478 \right)^2 \frac{A_E}{A_0} \right] \quad (4.113)$$

trong đó B_p tính theo hệ thống đo Anh-Mỹ, HP, v/ph, HL/h.

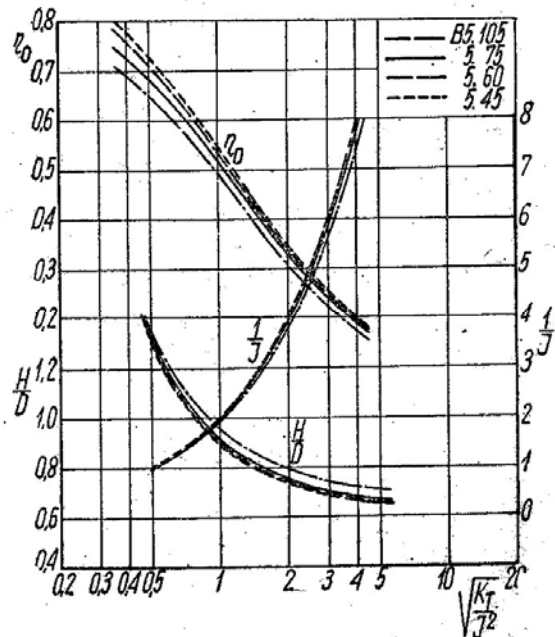
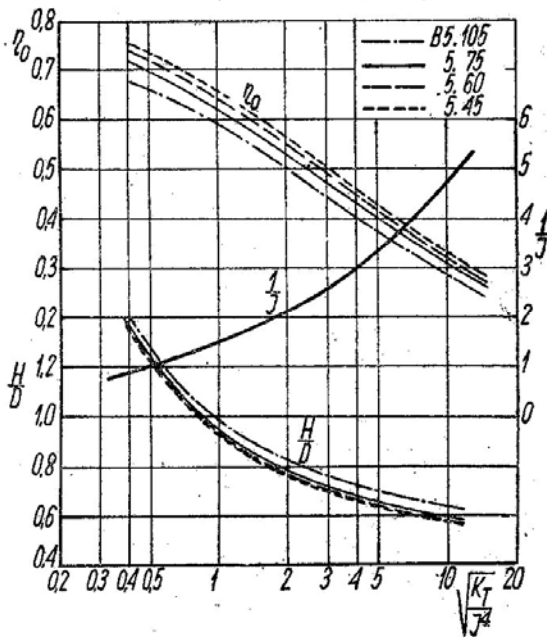
Chọn máy tàu

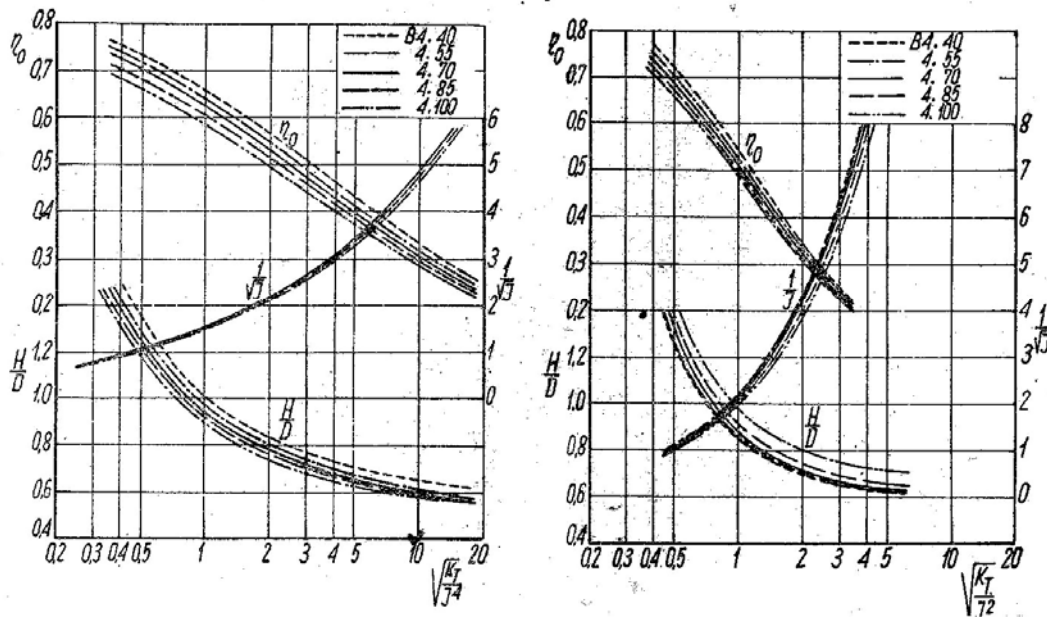
Trong nhiều trường hợp người thiết kế cần đưa ra những đề nghị chọn máy tàu đủ công suất và vòng quay trục chân vịt hợp lý nhất cho vấn đề đang được giải quyết. Thuật toán chọn máy tàu như sau:

1. Xác định vận tốc tàu $V_p = 0,515 V_s (1-w)$,

2. Xác định D bằng công thức gần đúng: $D_0 = \frac{1,359}{\sqrt{n}} \sqrt[4]{\frac{P_D}{\rho \cdot V_p}}$.

3. Xác định $\sqrt{\frac{K_T}{J^2}} = \sqrt{\frac{R(V_s)}{\rho \cdot (1-t) V_p^2 D^2}}$





Hình 4.26 Chọn máy tàu

4. Xác định các hệ số $\frac{1}{J} = \frac{nD}{V_p}$ và η_p

5. Tính $P_E = \frac{R(V_s)0,515}{75 \frac{1-t}{1-w} C_{mt} \eta_p \eta_{hs} \eta_{dt} \xi_R}$,

6. $n = \frac{1}{J} \frac{V_p}{D}$,

Chọn máy tàu kéo theo thứ tự sau:

1. Xác định $\sqrt{\frac{K_T}{J^2}} = \frac{1}{D \cdot V_p} \sqrt{\frac{\rho}{T}}$

2. Xác định các hệ số $\frac{1}{J}$ và D_{opt}

3. Tính $P_E = \frac{TV_p 0,515}{75 \frac{1-t}{1-w} C_{mt} \eta_p \eta_{hs} \eta_{dt} \xi_R}$

4./ $n = \frac{1}{J} \frac{V_p}{D}$

Đồ thị giúp chọn máy khi thiết kế chân vịt B4 và B5 trình bày tại hình 4.26

Thiết kế chân vịt theo chế độ chạy tự do

Trong chế độ chạy tự do chân vịt đưa tàu tiến với vận tốc nhanh nhất khi sử dụng 100% công suất định mức của máy chính, tại chế độ momen quay không đổi.

Thiết kế chân vịt theo chế độ chạy tự do đưa về giải phương trình:

$$T_e(V_s) V_p = R(V_s) V_p \quad (4.114)$$

Trong hệ tọa độ lực - vận tốc bài toán trên có dạng:

$$f(X) = \varphi(X) \quad (4.115)$$

với $f(X) \equiv T_e(V_s)$ và $\varphi(X) \equiv R(V_s)$

Giải thuật xử lý $f(X) = \varphi(X)$

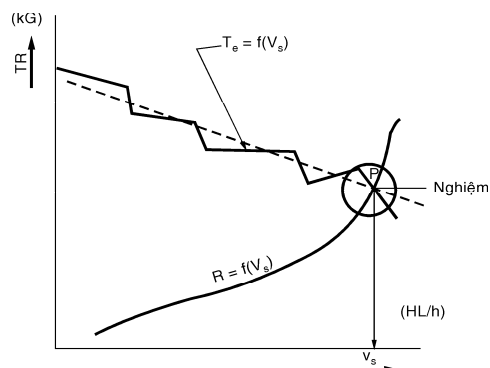
1- Tìm giá trị thử của V_s , ví dụ $V_s = (V_{\min} + V_{\max})/2$; trong đó các giá trị $V_{\min}$, $V_{\max}$ được chọn tùy điều kiện khai thác của tàu.

2- Xác định lực đẩy của chân vịt $T_e = f_1(V)$, theo sơ đồ tại hình 5.51

3- Xác định $R = f_2(V)$ bằng các phương pháp tính sức cản tàu,

4- Xác định cách biệt giữa R và T_e : $\Delta R = T_e(V) - R(V)$,

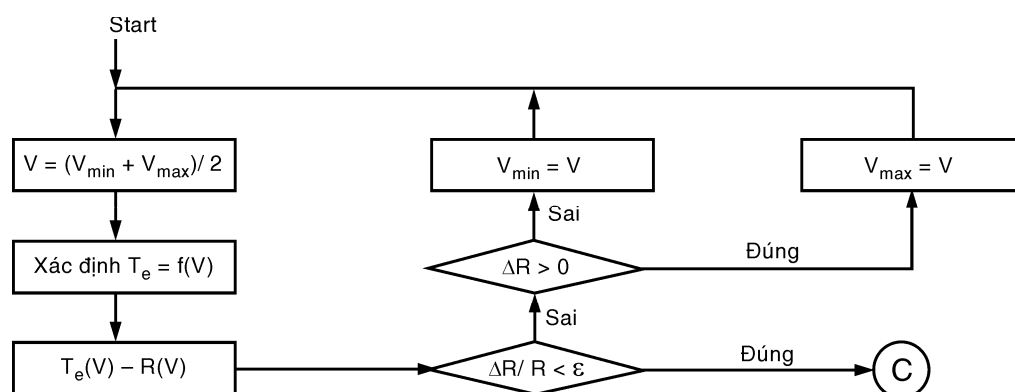
5- Thực hiện phép thử: $\left| \frac{\Delta R}{R} \right| \leq \varepsilon$?



Hình 4.27. Thiết kế chân vịt theo chế độ chạy tự do

Nếu phép thử đưa lại kết quả đúng, dừng các phép tính và thông báo kết quả. Ngược lại, tiếp tục tính để tìm nghiệm.

Sơ đồ giải phương trình:



Hình 4.28 . Sơ đồ giải phương trình $f(V) = \varphi(V)$.

Xác định lực đẩy $T_e(V_s)$.

$$1- V_a = V_s(1-w);$$

$$2- Bp = \frac{N}{V_a^2} \sqrt{\frac{P_D}{V_a}};$$

$$3- \delta_{opt} = f_1(Bp, \delta_{opt});$$

$$4- \delta = (0,96 \div 1) \delta_{opt};$$

$$5- J = \frac{101,3}{\delta}$$

$$6- D = \frac{Vp}{n.J} = \frac{0,515 V_a}{n.J};$$

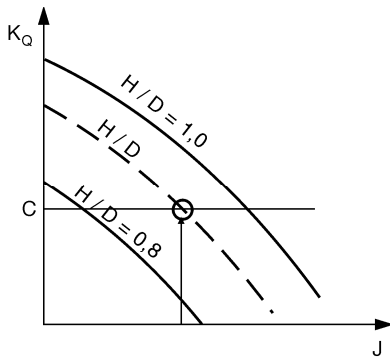
$$7- C_Q = \frac{11,936 P_D}{\rho . n^3 . D^5}$$

$$8- H/D = f_2 (H/D, J, C_Q, A_e/A_0, Z);$$

$$9- K_T = f_3 (H/D, J, C_Q, A_e/A_0, Z);$$

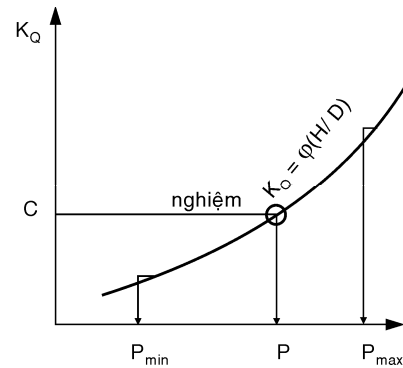
$$10- Te = T(1-t) = K_T . \rho n^2 D^4 (1-t).$$

Giải phương trình $H/D = f_2 (H/D, J, C_Q, A_e/A_0, Z)$ đòi hỏi phải xác định $(H/D)_0$ bằng đồ thị trước khi tính H/D . Sử dụng hệ tọa độ $K_Q - H/D$ để tìm giá trị $H/D = f(K_Q)$ theo cách làm tại hình 5.52 và 5.53.



HÌNH 4.29

Xác định H/D trên đồ thị $K_q - \eta_p - J$, cho $J = const$



HÌNH 4.30

Đồ thị $K_q - h/d$ với $K_q = const$

Hệ số $C = const$ xác định theo công thức:

$$C = \frac{11,936 P_D}{\rho . n^3 . D^5} \quad (4.116)$$

Xác định bước chân vịt.

$$1- P = (P_{min} + P_{max})/2;$$

$$2- K_Q = f_1 (H/D, J, A_e/A_0, Z);$$

$$3- \Delta = C - K_Q;$$

$$4- \left| \frac{\Delta}{C} \right| \leq \varepsilon ?$$

$$5- \Delta > 0 ?$$

$$6- \text{Nếu (5) đúng } P_{min} = P;$$

$$7- \text{Ngược lại } P_{max} = P;$$

Thiết kế chân vịt theo chế độ kéo

Yêu cầu của trường hợp này là phải tạo ra lực kéo trên móc lớn nhất khi tàu kéo tại vận tốc kéo V_T cho trước. Với vận tốc tàu $V_S < V_T$ chân vịt làm việc theo chế độ momen quay định mức. Sức kéo trên móc tại thời điểm này tính bằng công thức:

$$Z_0 = Te(V_T) - R(V_T), \text{ với } V_S > V_T \text{ chân vịt làm việc ở chế độ } n = const.$$

Thuật toán thiết kế chân vịt theo chế độ kéo:

$$\begin{aligned}
 1- V_a &= V_T(1-w); & 2- B_p &= \frac{N}{V_a^2} \sqrt{\frac{P_D}{V_a}}; & 3- \delta &= f_1(B_p, A_e/A_0); \\
 4- D &= 0,3048 \delta V_a / N; & 5- H/D &= f_2(B_p, A_e/A_0); & 6- \eta_{opt} &= f_3(B_p, A_e/A_0); \\
 7- T_e &= \frac{75 P_D \eta_p}{0,515 V_a}; & 8- Z_0 &= T_e(V_T) - R(V_T);
 \end{aligned}$$

Miêu tả chương trình máy tính hiện hành

Chương trình nguyên thủy được viết bằng ngôn ngữ FORTRAN IV, áp dụng cho thiết kế chân vịt seri B, Wageningen, số cánh từ 3 ÷ 5, dành riêng cho thiết kế chân vịt theo chế độ chạy tự do và chế độ kéo. Tùy thuộc ý muốn người dùng, chương trình còn được lựa chọn để tính chân vịt dung hòa. Trong chương trình để ngỏ khả năng chọn lựa đường kính tối ưu hoặc đường kính hạn chế cho người dùng.

Chương trình gồm các mô đun chính:

- Tính các hệ số K_T , K_Q là hàm của H/D , A_e/A_0 , Z , J ,
- Giải phương trình $f(X) = \varphi(X)$,
- Thiết kế chân vịt theo chế độ chạy tự do,
- Thiết kế chân vịt theo chế độ kéo,
- Kiểm tra chân vịt hiện hữu và trình bày biện pháp cải tiến,
- Xác lập các đặc trưng hình học và lập đường đặc tính chân vịt.

Kết cấu chân vịt đảm bảo tiêu chuẩn bền theo phương pháp Romson. Điều kiện tránh sỏi bọt, xâm thực cánh và củ theo cách làm của bể thử Wageningen, Netherlands.

Chương trình được “dịch” từ FORTRAN sang ngôn ngữ C ANSI, chạy trong môi trường DOS máy tính cá nhân PC. Chương trình chỉ đòi hỏi máy tính có cấu hình đơn giản từ AT 386 trở lên. Sau đó chương trình trên đây đã được chuyển sang ngôn ngữ visual C++ chạy trong môi trường Windows.

Dưới đây giới thiệu trích đoạn hàm chính của chương trình làm tài liệu tham khảo.

```

0  void main()
1  {
2  char ch;
3  time_t loctime;
4  struct tm *currtime;
5  struct date currdate;
6  textbackground( BLUE );
7  textcolor( WHITE );
8  outfile = fopen("a:\\tr1.out","w+");
9  if ( outfile == NULL )
10 printf("\n\tKhông thể mở file TR1.OUT\n");
11 else
12 printf("\n\tFile TR1.OUT đã được mở.\n");
13 clrscr();
14 getdate(&currdate);
15 gotoxy(60,1);

```

```

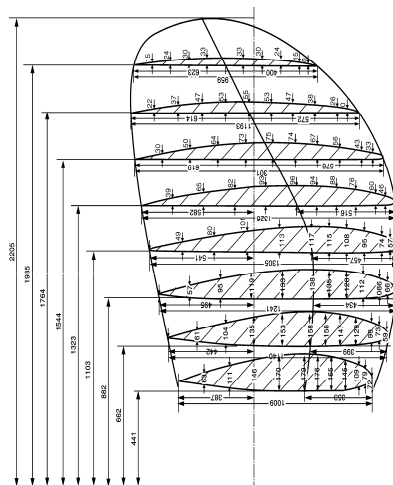
16 printf("\t %d\ %d\ %d", currdate.da_day,
17 currdate.da_mon, currdate.da_year);
18 loctime = time(NULL);
19 currtime = localtime( &loctime);
20 gotoxy(50,2);
21 printf("%s\n", asctime( currtime ) );
22 gotoxy(10,12);
23 printf("\n\tTên tàu : "); scanf("%s", &ship);
24 textcolor( GREEN);
25 printf("\n\tChạy sông hay biển ? Xin trả lời <S/B> : ");
26 ch = getche();
27 ch = toupper( ch );
28 if ( ch == 'S' ) c=1.0;
29 else c=1.025;
30 gamma =1000*c;
31 rho=102.0*c;
32 vmin= 2.0; vmax=25.0;
33 fprintf(outfile,"\nStarted : %s\n", asctime( currtime) );
34 fprintf(outfile,"\nTen tau: %s\n ",ship);
35 textcolor( LIGHTRED);
36 condition = ' ';
37 while ( condition != '0' ) {
38 clrscr();
39 gotoxy(10,5);
40 printf("\n\tTHIẾT KẾ CHÂN VỊT TÀU - B-WAGENINGEN\n");
41 printf("\n\t1- CHẠY TỰ DO\n");
42 printf("\n\t2- CHẾ ĐỘ KÉO\n");
43 printf("\n\t3- KIỂM TRA CHÂN VỊT CÓ SẴN\n");
44 printf("\n\t0- THOÁT RA NGOÀI\n");
45 textcolor( YELLOW );
46 printf("\n\n\tĐề nghị chọn số : (1) (2) (3) (0) : ");
47 condition = getche();
48 switch ( toupper( condition ) ) {
49 case '1': FreeRunning();
50 break;
51 case '2': Towingcondition();
52 break;
53 case '3': checkOfScrew();
54 break;
55 case '0': printf("\n\n\tGood bye");
56 exit(0);
57 }
58 }
59 }

```

Dưới đây trình bày kết quả tính chân vịt cho tàu vận tải ven biển sức chở 600dwt, khai thác ở vận tốc xấp xỉ 9,3 HL/h.

Tàu được lắp máy chính công suất 400 PS, vòng quay máy ở chế độ định mức 750 v/ph. Vòng quay chân vịt 360 v/ph. Các hệ số dòng theo và lực hút được tính bằng $w = 0,322$ và $t = 0,186$. Modul thiết kế chân vịt tối ưu đưa ra kết quả :

Đường kính $D = 1,564\text{m};$
 Tỷ lệ bước xoắn $H/D = 0,676;$
 Tỷ lệ diện tích mặt đĩa $ae = 0,427;$
 Số cánh $Z = 4.$
 Tốc độ tàu $V_s = 9,297 \text{ Hl/h}.$



Hình 4.31

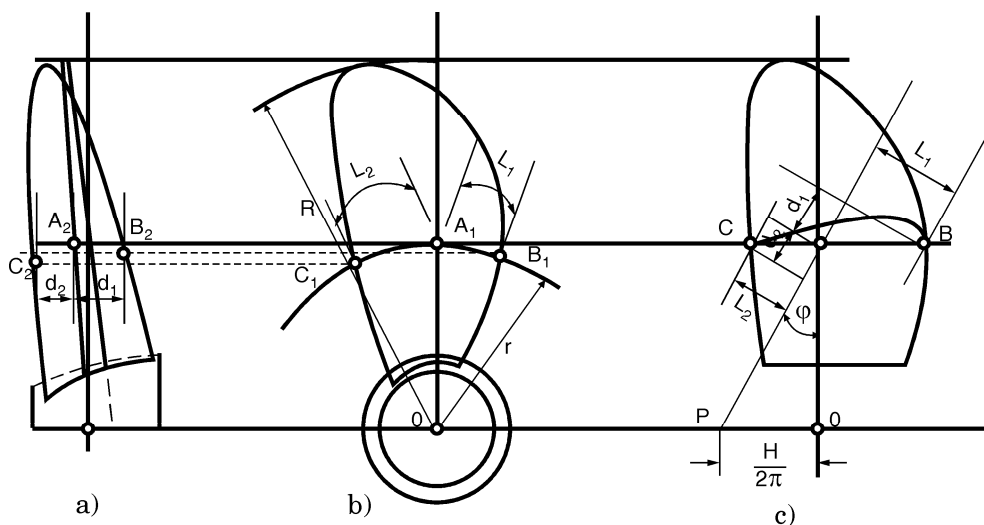
4.10 VẼ CHÂN VỊT TRÊN MÁY CÁ NHÂN PC

Trong giai đoạn thiết kế chương trình tạo ra loạt dữ liệu liên quan hình học chân vịt. Dữ liệu này được nhớ sau đó dùng cho việc tự động hóa công đoạn vẽ chân vịt. Công việc thực hiện trong phạm vi chương trình vẽ chân vịt.

Thuật toán vẽ đường bao cánh chân vịt

Phương pháp khai triển elip đã trình bày tại phần đầu tài liệu được dùng vào việc vẽ đường bao cánh tại các mặt chiếu. Phương pháp cải biên cho chương trình vẽ có dạng như trên hình. Trên hình, phần (c) là mặt khai triển của cánh, vẽ qua các mặt cắt trụ, được xác định trong quá trình thiết kế chân vịt. Từ (c) tiến hành khai triển, xác định các đoạn thẳng l_1, l_2, d_1, d_2 , đo qua cung CB, cách tâm củ bán kính r , đã được triển khai thành đoạn CB như trên hình. Chiều dài cung l_1, l_2 được đặt vào hình chiếu bằng khi xác định chiều dài đoạn thẳng từ đường chuẩn đến mép dẫn và mép thoát trên hình chiếu bằng. Cung d_1 và d_2 được đặt vào hình chiếu cạnh theo thứ tự tương ứng. Khoảng cách từ đường chuẩn đến B trên hình chiếu cạnh được coi bằng chiều dài cung d_1 , còn chiều dài cung d_2 dùng để xác định vị trí C trên hình chiếu cạnh.

Cách vẽ này được áp dụng cho tất cả các mặt cắt, tính từ đường bao củ đến $r = R$.



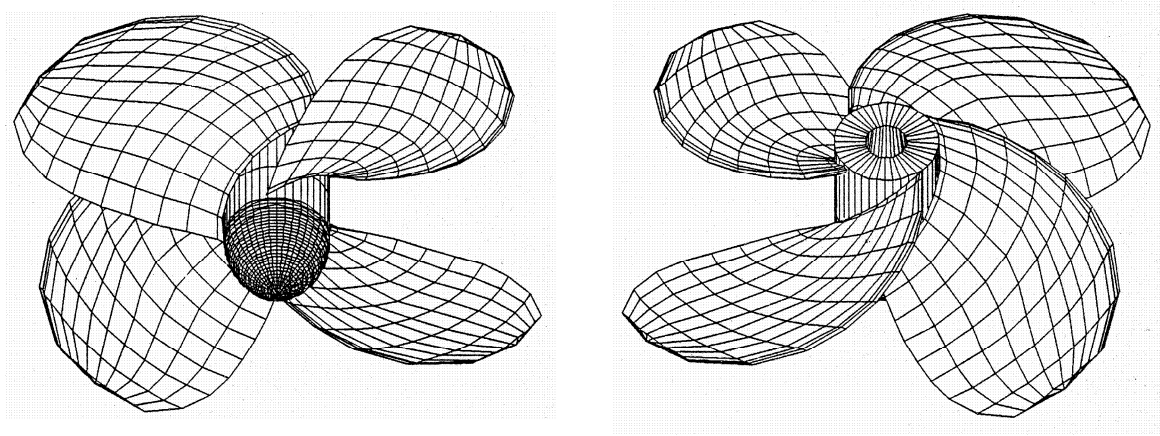
Hình 4.32 Vẽ chân vịt

Dựa vào giải thuật trên có thể tiến hành vẽ chân vịt theo thứ tự sau.

- Vẽ đường bao mặt trái căn cứ vào dữ liệu do chương trình thiết kế cấp.
- Vẽ hình chiếu bằng
- Vẽ hình chiếu cạnh
- Đóng kích thước

Từ cách vẽ trên đây có thể viết chương trình vẽ chân vịt trong 3D dùng để mô hình hoá các quá trình chịu tải trong dòng nước đi sau tàu, trong điều kiện chân vịt quay theo ý muốn. Chân vịt vẽ trong 3D có thể giúp ích cho những người nghiên cứu độ bền chân vịt khi mô hình hóa chúng trong không gian. Bản vẽ 3D đã giúp những kỹ sư trong ngành thiết kế qui trình công nghệ gia công cánh chân vịt trên máy CNC.

Chương trình viết bằng ngôn ngữ LISP vẽ chân vịt seri B Wageningen trình bày cuối chương này. Một trong những ví dụ vẽ chân vịt 4 cánh, B-4-55 trình bày tiếp theo.



Hình 4.33 Chân vịt 4 cánh vẽ trong không gian 3D

Bảng A Hệ số K_{klmn} chân vịt B4 và B5.

TT	C_{klmn}	k (J)	L (H/D)	m (Ae/A ₀)	n (Z)
1	+0,00880496	0	0	0	0
2	-0,204554	1	0	0	0
3	+0,166351	0	1	0	0
4	+0,158114	0	2	0	0
5	-0,147581	2	0	1	0
6	-0,481497	1	1	1	0
7	+0,415437	0	2	1	0
8	+0,0144043	0	0	0	1
9	-0,0530054	2	0	0	1
10	+0,0143481	0	1	0	1
11	+0,0606826	1	1	0	1
12	-0,0125894	0	0	1	1
13	+0,0109689	1	0	1	1

14	-0,133698	0	3	0	0
15	+0,00638407	0	6	0	0
16	-0,00132718	2	6	0	0
17	+0,168496	3	0	1	0
18	-0,0507214	0	0	2	0
19	+0,0854559	2	0	2	0
20	-0,0504475	3	0	2	0
21	+0,010465	1	6	2	0
22	-0,00648272	2	6	2	0
23	-0,00841728	0	3	0	1
24	+0,0168424	1	3	0	1
25	-0,00102296	3	3	0	1
26	-0,0317791	0	3	1	1
27	+0,018604	1	02	2	1
28	-0,00410798	0	2	2	1
29	-0,000606848	0	0	0	2
30	-0,0049819	1	0	0	2
31	+0,0025983	2	0	0	2
32	-0,000560528	3	0	0	2
33	-0,00163652	1	2	0	2
34	-0,000328787	1	6	0	2
35	+0,000116502	2	6	0	2
36	+0,000690904	0	0	1	2
37	+0,00421749	0	3	1	2
38	+0,0000565229	3	6	1	2
39	-0,00146564	0	3	2	2

Bảng B Hệ số K_{klmn} B4 và B 5 seri B.

TT	K_{klmn}	k (J)	l (H/D)	m (Ae/A ₀)	n (Z)
1	+0,00379368	0	0	0	0
2	+0,00886523	2	0	0	0
3	-0,032241	1	1	0	0
4	+0,00344778	0	2	0	4
5	-0,0408811	0	1	1	0
6	-0,108009	1	1	1	0
7	-0,0885381	2	1	1	0
8	+0,188561	0	2	1	0
9	-0,00370871	1	0	0	1
10	+0,00513696	0	1	0	1
11	+0,0209449	1	1	0	1
12	+0,00474319	2	1	0	1
13	-0,00723408	2	0	1	1
14	+0,00438388	1	1	1	1
15	-0,0269403	0	2	1	1

16	+0,0558082	3	0	1	0
17	+0,0161886	0	3	1	0
18	+0,00318086	1	3	1	0
19	+0,015896	0	0	2	0
20	+0,0471729	1	0	2	0
21	+0,0196283	3	0	2	0
22	-0,0502782	0	1	2	0
23	-0,030055	3	1	2	0
24	+0,0417122	2	2	2	0
25	-0,0397722	0	3	2	0
26	-0,00350024	0	6	2	0
27	-0,0106854	3	0	0	1
28	+0,00110903	3	3	0	1
29	-0,000313912	0	6	0	1
30	+0,0035985	3	0	1	1
31	-0,00142121	0	6	1	1
32	-0,00383637	1	0	2	1
33	+0,0126803	0	2	2	1
34	-0,00318278	2	3	2	1
35	+0,00334268	0	6	2	1
36	-0,00183491	1	1	0	2
37	+0,000112451	3	2	0	2
38	-0,0000297228	3	6	0	2
39	+0,000269551	1	0	1	2
40	+0,00083265	2	0	1	2
41	+0,00155334	0	2	1	2
42	+0,000302683	0	6	1	2
43	-0,0001843	0	0	2	2
44	-0,000425399	0	3	2	2
45	+0,0000869243	3	3	2	2
46	-0,0004659	0	6	2	2
47	+0,000055419	1	6	2	2

Chương trình vẽ chân vịt tàu thủy trong 3D

```
;-----  
; 3Dmesh with array  
; Quay phai cv3dp.lsp  
;-----  
(defun gduser ( / Ae)  
  (initget (+ 1 2 4))  
  (setq D (getreal "\nDuong Kinh Chan Vit < tinh bang m>: "))  
  (initget (+ 1 2 4))  
  (setq Ae (getreal "\nTi Le Mat Dia < tu 0.4 den 1.1>: "))  
  (initget (+ 1 2 4))  
  (setq HD (getreal "\nTi Le Buoc < tu 0.5 den 1>: "))  
  (initget 6)  
  (setq NBLADE (getint "\nSo canh <3-4-5> : "))  
  (setq H (* HD D))  
  (setq bm (* 0.72 Ae D))  
  (setq Hd2pi ( / H (* 2 pi)))  
  (setq D2 ( / D 2.0 ))  
  (setq cmde (getvar "CMDECHO"))  
  ;;(command "UNDO" "GROUP")  
  (setq ucsf (getvar "UCSFOLLOW" ))  
  (setq stab1 (getvar "SURFTAB1"))  
  (setq stab2 (GETVAR "SURFTAB2"))  
  (setq Listr (mapcar '(lambda (x) (* x D2))  
    '(0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0)))  
  (setq Listem (mapcar '(lambda (x) (* x D))  
    '(0.0406 0.0359 0.0312 0.0265 0.0218 0.0171 0.0124 0.0077 0.0045 )))  
  (setq Listb (mapcar '(lambda (x) (* x bm))  
    '(0.7473 0.8341 0.9153 0.9705 1.0 0.9919 0.9285 0.7577 0.451)))  
  (setq Listbp (mapcar '(lambda (x) (* x bm))  
    '(0.4605 0.5124 0.5491 0.5652 0.5582 0.5222 0.4463 0.3031 0.1487 )))  
  (setq Listb1 (mapcar '(lambda (x y) (* x y)) Listb  
    '(0.35 0.35 0.35 0.355 0.389 0.442 0.478 0.5 0.5)))  
  (setq Phi (atan Hd2pi D2))  
  (setq CosPhi (cos Phi))  
  (setq m (* 0.1487 bm) gamma (/ m D2))  
  (setq A1 (list (* D2 (sin gamma) -1.0) (* D2 (cos gamma) )  
    (* (* m CosPhi) (sin Phi) -1.0) ))  
)  
(defun dsize ( / LowLC UpRC)  
  (setq LowLC (list 0.0 0.0))  
  (setq UpRC (list (* 5 bm) (* 0.8 D)))  
  (command "LIMITS" "OFF")  
  (command "LIMITS" LowLC UpRC)  
  (command "ZOOM" "A")  
)  
;  
; array  
;;  
(defun dprofil01( / xx r m em b b1 bp Listx Listz gamma Phi CosPhi)  
  (setq em (nth 0 Listem) b (nth 0 Listb) b1 (nth 0 Listb1)  
    bp (nth 0 Listbp))  
  (setq m (- bp b1))  
  (setq Listx (mapcar '(lambda (x) (+ m (* x b1)) )  
    '(0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 0.9 0.95 1.0 0.95 0.9 0.8 0.6 0.4 0.2 0.0)))
```

```

(setq Listz (mapcar '(lambda (x) (* x em))
  '(0.0 0.0 0.023 0.059 0.1345 0.203 0.262 0.400 0.569 0.6435 0.744
    0.870 0.9450 0.986 1.0)))
(setq r (* 0.18 D2 ))
(setq Phi (atan (* Hd2pi 0.80) r))
(setq CosPhi (cos Phi))
(setq xx (mapcar '(lambda (x) (* x CosPhi) ) Listx ))
(setq gamma (mapcar '(lambda (x) (/ x r)) xx ))
(setq Right1 (mapcar '(lambda (x y z) ( list (* r (sin x))
  (* r (cos x)) (+ (* y (sin Phi)) z) ))
  gamma Listx Listz))
(command "COLOR" 1 )
(command "3DPOLY"
(nth 0 Right1) (nth 1 Right1) (nth 2 Right1) (nth 3 Right1) (nth 4 Right1)
(nth 5 Right1) (nth 6 Right1) (nth 7 Right1) (nth 8 Right1) (nth 9 Right1)
(nth 10 Right1) (nth 11 Right1) (nth 12 Right1) (nth 13 Right1) (nth 14 Right1)
  ""))
;(setq A0 (nth 0 Right1) B0 (nth 7 Right1) AA0 (nth 14 Right1))
;;
(setq Listx (mapcar '(lambda (x) (- (* x (- b b1)) m))
  '(0.2 0.4 0.6 0.8 1.0 0.8 0.6 0.4 0.2)))
(setq Listz (mapcar '(lambda (x) (* x em))
  '(0.9645 0.869 0.7265 0.5335 0.3 0.182 0.109 0.0545 0.015)))
(setq xx (mapcar '(lambda (x) (* x CosPhi) ) Listx ))
(setq gamma (mapcar '(lambda (x) (/ x r)) xx ))
(setq Left1 (mapcar '(lambda (x y z) ( list (* r (sin x) -1 )
  (* r (cos x)) (+ (* y (sin Phi) -1) z) ))
  gamma Listx Listz))
(command "3DPOLY"
(nth 8 Left1) (nth 7 Left1) (nth 6 Left1) (nth 5 Left1) (nth 4 Left1)
(nth 3 Left1) (nth 2 Left1) (nth 1 Left1) (nth 0 Left1)
  ""))
;(setq C0 (nth 4 Left1))
;;
(setq Listx (mapcar '(lambda (x) (+ m (* x b1)) )
  '(0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 0.9 0.95 1.0 0.95 0.9 0.8 0.6 0.4 0.2 0.0)))
(setq Listz (mapcar '(lambda (x) (* x em))
  '(0.0 0.0 0.023 0.059 0.1345 0.203 0.262 0.400 0.569 0.6435 0.744
    0.870 0.9450 0.986 1.0)))
(setq r (* 0.2 D2 ))
(setq Phi (atan (* Hd2pi 0.82) r))
(setq CosPhi (cos Phi))
(setq xx (mapcar '(lambda (x) (* x CosPhi) ) Listx ))
(setq gamma (mapcar '(lambda (x) (/ x r)) xx ))
(setq Right2 (mapcar '(lambda (x y z) ( list (* r (sin x))
  (* r (cos x)) (+ (* y (sin Phi)) z) ))
  gamma Listx Listz))
;(setq A2 (nth 0 Right2) B2 (nth 7 Right2) AA2 (nth 14 Right2))
;;
(setq Listx (mapcar '(lambda (x) (- (* x (- b b1)) m))
  '(0.2 0.4 0.6 0.8 1.0 0.8 0.6 0.4 0.2)))
(setq Listz (mapcar '(lambda (x) (* x em))
  '(0.9645 0.869 0.7265 0.5335 0.3 0.182 0.109 0.0545 0.015)))
(setq xx (mapcar '(lambda (x) (* x CosPhi) ) Listx ))
(setq gamma (mapcar '(lambda (x) (/ x r)) xx ))
(setq Left2 (mapcar '(lambda (x y z) ( list (* r (sin x) -1 )

```

```

(* r (cos x)) (+ (* y (sin Phi) -1) z) ))
gamma Listx Listz))
;(setq C2 (nth 4 Left2))
(setq em (nth 1 Listem) b (nth 1 Listb) b1 (nth 1 Listb1) bp (nth 1 Listbp))
(setq m (- bp b1))
(setq Listx (mapcar '(lambda (x) (+ m (* x b1))))
'(0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 0.9 0.95 1.0 0.95 0.9 0.8 0.6 0.4 0.2 0.0)))
(setq Listz (mapcar '(lambda (x) (* x em))
'(0.0 0.0045 0.013 0.046 0.1085 0.1655 0.222 0.3755 0.549 0.6265 0.725
0.858 0.9400 0.984 1.0)))
(setq r ( nth 1 Listr))
(setq Phi (atan (* Hd2pi 0.88) r))
(setq CosPhi (cos Phi))
(setq xx (mapcar '(lambda (x) (* x CosPhi) ) Listx ))
(setq gamma (mapcar '(lambda (x) (/ x r)) xx ))
(setq Right3 (mapcar '(lambda (x y z) ( list (* r (sin x))
(* r (cos x)) (+ (* y (sin Phi)) z) ))
gamma Listx Listz))
;(setq A3 (nth 0 Right3) B3 (nth 7 Right3) AA3 (nth 14 Right3))
;;
(setq Listx (mapcar '(lambda (x) (- (* x (- b b1)) m))
'(0.2 0.4 0.6 0.8 1.0 0.8 0.6 0.4 0.2)))
(setq Listz (mapcar '(lambda (x) (* x em))
'(0.968 0.868 0.7160 0.5095 0.2535 0.122 0.058 0.017 0.0)))
(setq xx (mapcar '(lambda (x) (* x CosPhi) ) Listx ))
(setq gamma (mapcar '(lambda (x) (/ x r)) xx ))
(setq Left3 (mapcar '(lambda (x y z) ( list (* r (sin x) -1 )
(* r (cos x)) (+ (* y (sin Phi) -1) z) ))
gamma Listx Listz))
;(setq C3 (nth 4 Left3))
(setq em (nth 2 Listem) b (nth 2 Listb) b1 (nth 2 Listb1) bp (nth 2 Listbp))
(setq m (- bp b1))
(setq Listx (mapcar '(lambda (x) (+ (* x b1) m))
'(0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 0.9 0.95 1.0 0.95 0.9 0.8 0.6 0.4 0.2 0.0)))
(setq Listz (mapcar '(lambda (x) (* x em))
'(0.0 0.0 0.003 0.0265 0.078 0.125 0.179 0.345 0.522 0.6015 0.704
0.843 0.9325 0.982 1.0)))
(setq r ( nth 2 Listr))
(setq Phi (atan (* Hd2pi 0.95) r))
(setq CosPhi (cos Phi))
(setq xx (mapcar '(lambda (x) (* x CosPhi) ) Listx ))
(setq gamma (mapcar '(lambda (x) (/ x r)) xx ))
(setq Right4 (mapcar '(lambda (x y z) ( list (* r (sin x))
(* r (cos x)) (+ (* y (sin Phi)) z) ))
gamma Listx Listz))
;(setq A4 (nth 0 Right4) B4 (nth 7 Right4) AA4 (nth 14 Right4))
;;
(setq Listx (mapcar '(lambda (x) (- (* x (- b b1)) m))
'(0.2 0.4 0.6 0.8 1.0 0.8 0.6 0.4 0.2)))
(setq Listz (mapcar '(lambda (x) (* x em))
'(0.97 0.8655 0.7025 0.477 0.1785 0.062 0.015 0.0 0.0)))
(setq xx (mapcar '(lambda (x) (* x CosPhi) ) Listx ))
(setq gamma (mapcar '(lambda (x) (/ x r)) xx ))
(setq Left4 (mapcar '(lambda (x y z) ( list (* r (sin x) -1 )
(* r (cos x)) (+ (* y (sin Phi) -1) z) ))
gamma Listx Listz))

```

```

;;(setq C4 (nth 4 Left4))
(setq em (nth 3 Listem) b (nth 3 Listb) b1 (nth 3 Listb1) bp (nth 3 Listbp))
(setq m (- bp b1))
(setq Listx (mapcar '(lambda (x) (+ (* x b1) m))
  '(0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 0.9 0.95 1.0 0.95 0.9 0.8 0.6 0.4 0.2 0.0)))
(setq Listz (mapcar '(lambda (x) (* x em))
  '(0.0 0.0 0.0 0.0 0.007 0.043 0.0845 0.133 0.304 0.486 0.568 0.677 0.823 0.924 0.981 1.0)))
(setq r (nth 3 Listr))
(setq Phi (atan (* Hd2pi 0.99) r))
(setq CosPhi (cos Phi))
(setq xx (mapcar '(lambda (x) (* x CosPhi) ) Listx ))
(setq gamma (mapcar '(lambda (x) (/ x r)) xx ))
(setq Right5 (mapcar '(lambda (x y z) (list (* r (sin x))
  (* r (cos x)) (+ (* y (sin Phi)) z) ))
  gamma Listx Listz))

;;
(setq Listx (mapcar '(lambda (x) (- (* x (- b b1)) m))
  '(0.2 0.4 0.6 0.8 1.0 0.8 0.6 0.4 0.2)))
(setq Listz (mapcar '(lambda (x) (* x em))
  '(0.9695 0.861 0.684 0.434 0.097 0.0175 0.0 0.0 0.0)))
(setq xx (mapcar '(lambda (x) (* x CosPhi) ) Listx ))
(setq gamma (mapcar '(lambda (x) (/ x r)) xx ))
(setq Left5 (mapcar '(lambda (x y z) (list (* r (sin x) -1 )
  (* r (cos x)) (+ (* y (sin Phi) -1) z) ))
  gamma Listx Listz))

;;(setq A5 (nth 0 Right5) B5 (nth 7 Right5) AA5 (nth 14 Right5))
;;(setq C5 (nth 4 Left5))

;;
(setq em (nth 4 Listem) b (nth 4 Listb) b1 (nth 4 Listb1) bp (nth 4 Listbp))
(setq m (- bp b1))
(setq Listx (mapcar '(lambda (x) (+ (* x b1) m))
  '(0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 0.9 0.95 1.0 0.95 0.9 0.8 0.6 0.4 0.2 0.0)))
(setq Listz (mapcar '(lambda (x) (* x em))
  '(0.0 0.0 0.0 0.0 0.008 0.0445 0.084 0.245 0.4335 0.522 0.636
  0.7935 0.9125 0.981 1.0)))
(setq r (nth 4 Listr))
(setq Phi (atan Hd2pi r))
(setq CosPhi (cos Phi))
(setq xx (mapcar '(lambda (x) (* x CosPhi) ) Listx ))
(setq gamma (mapcar '(lambda (x) (/ x r)) xx ))
(setq Right6 (mapcar '(lambda (x y z) (list (* r (sin x))
  (* r (cos x)) (+ (* y (sin Phi)) z) ))
  gamma Listx Listz))

;;
(setq Listx (mapcar '(lambda (x) (- (* x (- b b1)) m))
  '(0.2 0.4 0.6 0.8 1.0 0.8 0.6 0.4 0.2)))
(setq Listz (mapcar '(lambda (x) (* x em))
  '(0.968 0.854 0.6715 0.402 0.051 0.0 0.0 0.0)))
(setq xx (mapcar '(lambda (x) (* x CosPhi) ) Listx ))
(setq gamma (mapcar '(lambda (x) (/ x r)) xx ))
(setq Left6 (mapcar '(lambda (x y z) (list (* r (sin x) -1 )
  (* r (cos x)) (+ (* y (sin Phi) -1) z) ))
  gamma Listx Listz))

;;(setq A6 (nth 0 Right) B6 (nth 7 Right) AA6 (nth 14 Right))
;;(setq C6 (nth 4 Left))
(setq em (nth 5 Listem) b (nth 5 Listb) b1 (nth 5 Listb1) bp (nth 5 Listbp))

```

```

(setq m (- bp b1) r (* 0.7 D2) )
(setq Listx (mapcar '(lambda (x) (+ (* x b1) m))
  '( 0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 0.9 0.95 1.0 0.95 0.9 0.8 0.6 0.4 0.2 0.0)))
(setq Listz (mapcar '(lambda (x) (* x em))
  '(0.0 0.0 0.0 0.0 0.008 0.0445 0.084 0.245 0.4335 0.522 0.636
    0.7935 0.9125 0.981 1.0)))
(setq Phi (atan Hd2pi r))
(setq CosPhi (cos Phi))
(setq xx (mapcar '(lambda (x) (* x CosPhi) ) Listx ))
(setq gamma (mapcar '(lambda (x) (/ x r)) xx ))
(setq Right7 (mapcar '(lambda (x y z) ( list (* r (sin x)
  (* r (cos x)) (+ (* y (sin Phi)) z) ))
  gamma Listx Listz))
;;
(setq Listx (mapcar '(lambda (x) (- (* x (- b b1)) m))
  '( 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0 0.8 0.6 0.4 0.2)))
(setq Listz (mapcar '(lambda (x) (* x em))
  '(0.968 0.854 0.6715 0.402 0.051 0.0 0.0 0.0 0.0)))
(setq xx (mapcar '(lambda (x) (* x CosPhi) ) Listx ))
(setq gamma (mapcar '(lambda (x) (/ x r)) xx ))
(setq Left7 (mapcar '(lambda (x y z) ( list (* r (sin x) -1 )
  (* r (cos x)) (+ (* y (sin Phi)) -1) z) ))
  gamma Listx Listz))
;(setq A7 (nth 0 Right) B7 (nth 7 Right) AA7 (nth 14 Right))
;(setq C7 (nth 4 Left))
(setq em (nth 6 Listem) b (nth 6 Listb) b1 (nth 6 Listb1) bp (nth 6 Listbp))
(setq m (- bp b1))
(setq r (* 0.8 D2))
(setq Phi (atan Hd2pi r))
(setq CosPhi (cos Phi))
(setq Listx (mapcar '(lambda (x) (+ (* x b1) m))
  '( 0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 0.9 0.95 1.0 0.95 0.9 0.8 0.6 0.4 0.2 0.0)))
(setq Listz (mapcar '(lambda (x) (* x em))
  '(0.0 0.0 0.0 0.0 0.008 0.0445 0.084 0.245 0.4335 0.522 0.636
    0.7935 0.9125 0.981 1.0)))
(setq xx (mapcar '(lambda (x) (* x CosPhi) ) Listx ))
(setq gamma (mapcar '(lambda (x) (/ x r)) xx ))
(setq Right8 (mapcar '(lambda (x y z) ( list (* r (sin x)
  (* r (cos x)) (+ (* y (sin Phi)) z) ))
  gamma Listx Listz))
(setq Listx (mapcar '(lambda (x) (- (* x (- b b1)) m))
  '( 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0 0.8 0.6 0.4 0.2)))
(setq Listz (mapcar '(lambda (x) (* x em))
  '(0.968 0.854 0.6715 0.402 0.051 0.0 0.0 0.0 0.0)))
(setq xx (mapcar '(lambda (x) (* x CosPhi) ) Listx ))
(setq gamma (mapcar '(lambda (x) (/ x r)) xx ))
(setq Left8 (mapcar '(lambda (x y z) ( list (* r (sin x) -1 )
  (* r (cos x)) (+ (* y (sin Phi)) -1) z) ))
  gamma Listx Listz))
;(setq A8 (nth 0 Right) B8 (nth 7 Right) AA8 (nth 14 Right))
;(setq C8 (nth 4 Left))
(setq em (nth 7 Listem) b (nth 7 Listb) b1 (nth 7 Listb1) bp (nth 7 Listbp))
(setq m (- bp b1))
(setq r (* 0.9 D2))
(setq Phi (atan Hd2pi r))
(setq CosPhi (cos Phi))

```

```

(setq Listx (mapcar '(lambda (x) (+ (* x b1) m))
  '( 0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 0.9 0.95 1.0 0.95 0.9 0.8 0.6 0.4 0.2 0.0)))
(setq Listz (mapcar '(lambda (x) (* x em))
  '(0.0 0.0 0.0 0.0 0.008 0.0445 0.084 0.245 0.4335 0.522 0.636
    0.7935 0.9125 0.981 1.0)))
(setq xx (mapcar '(lambda (x) (* x CosPhi) ) Listx ))
(setq gamma (mapcar '(lambda (x) (/ x r)) xx ))
(setq Right9 (mapcar '(lambda (x y z) ( list (* r (sin x)
  (* r (cos x)) (+ (* y (sin Phi)) z) ))
  gamma Listx Listz))
(setq Listx (mapcar '(lambda (x) (- (* x (- b b1)) m))
  '( 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0 0.8 0.6 0.4 0.2)))
(setq Listz (mapcar '(lambda (x) (* x em))
  '(0.968 0.854 0.6715 0.402 0.051 0.0 0.0 0.0 0.0)))
(setq xx (mapcar '(lambda (x) (* x CosPhi) ) Listx ))
(setq gamma (mapcar '(lambda (x) (/ x r)) xx ))
(setq Left9 (mapcar '(lambda (x y z) ( list (* r (sin x) -1 )
  (* r (cos x)) (+ (* y (sin Phi) -1) z) ))
  gamma Listx Listz))
; (setq A9 (nth 0 Right) B9 (nth 7 Right) AA9 (nth 14 Right))
; (setq C9 (nth 4 Left))
(setq em (nth 8 Listem) b (nth 8 Listb) b1 (nth 8 Listb1) )
(setq m (* 0.142 bm -1.0))
;; (setq m (- bp b1))
(setq r (* 0.98 D2))
(setq Phi (atan Hd2pi r))
(setq CosPhi (cos Phi))
(setq Listx (mapcar '(lambda (x) (+ (* x b1) m))
  '( 0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 0.9 0.95 1.0 0.95 0.9 0.8 0.6 0.4 0.2 0.0)))
(setq Listz (mapcar '(lambda (x) (* x em))
  '(0.0 0.0 0.0 0.0 0.008 0.0445 0.084 0.245 0.4335 0.522 0.636
    0.7935 0.9125 0.981 1.0)))
(setq xx (mapcar '(lambda (x) (* x CosPhi) ) Listx ))
(setq gamma (mapcar '(lambda (x) (/ x r)) xx ))
(setq Right98 (mapcar '(lambda (x y z) ( list (* r (sin x)
  (* r (cos x)) (+ (* y (sin Phi)) z) ))
  gamma Listx Listz))
(setq Listx (mapcar '(lambda (x) (- (* x (- b b1)) m))
  '( 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0 0.8 0.6 0.4 0.2)))
(setq Listz (mapcar '(lambda (x) (* x em))
  '(0.968 0.854 0.6715 0.402 0.051 0.0 0.0 0.0 0.0)))
(setq xx (mapcar '(lambda (x) (* x CosPhi) ) Listx ))
(setq gamma (mapcar '(lambda (x) (/ x r)) xx ))
(setq Left98 (mapcar '(lambda (x y z) ( list (* r (sin x) -1 )
  (* r (cos x)) (+ (* y (sin Phi) -1) z) ))
  gamma Listx Listz))
; (setq A98 (nth 0 Right) B98 (nth 7 Right) AA98 (nth 14 Right))
; (setq C98 (nth 4 Left))
;
(command "COLOR" 2)
(command "3DMESH" 25 11
(nth 0 Right1) (nth 0 Right2) (nth 0 Right3) (nth 0 Right4) (nth 0 Right5)
(nth 0 Right6) (nth 0 Right7) (nth 0 Right8) (nth 0 Right9) (nth 0 Right98)
A1
(nth 1 Right1) (nth 1 Right2) (nth 1 Right3) (nth 1 Right4) (nth 1 Right5)
(nth 1 Right6) (nth 1 Right7) (nth 1 Right8) (nth 1 Right9) (nth 1 Right98)

```

A1
 (nth 2 Right1) (nth 2 Right2) (nth 2 Right3) (nth 2 Right4) (nth 2 Right5)
 (nth 2 Right6) (nth 2 Right7) (nth 2 Right8) (nth 2 Right9) (nth 2 Right98)
 A1
 (nth 3 Right1) (nth 3 Right2) (nth 3 Right3) (nth 3 Right4) (nth 3 Right5)
 (nth 3 Right6) (nth 3 Right7) (nth 3 Right8) (nth 3 Right9) (nth 3 Right98)
 A1
 (nth 4 Right1) (nth 4 Right2) (nth 4 Right3) (nth 4 Right4) (nth 4 Right5)
 (nth 4 Right6) (nth 4 Right7) (nth 4 Right8) (nth 4 Right9) (nth 4 Right98)
 A1
 (nth 5 Right1) (nth 5 Right2) (nth 5 Right3) (nth 5 Right4) (nth 5 Right5)
 (nth 5 Right6) (nth 5 Right7) (nth 5 Right8) (nth 5 Right9) (nth 5 Right98)
 A1
 (nth 6 Right1) (nth 6 Right2) (nth 6 Right3) (nth 6 Right4) (nth 6 Right5)
 (nth 6 Right6) (nth 6 Right7) (nth 6 Right8) (nth 6 Right9) (nth 6 Right98)
 A1
 (nth 7 Right1) (nth 7 Right2) (nth 7 Right3) (nth 7 Right4) (nth 7 Right5)
 (nth 7 Right6) (nth 7 Right7) (nth 7 Right8) (nth 7 Right9) (nth 7 Right98)
 A1
 (nth 8 Right1) (nth 8 Right2) (nth 8 Right3) (nth 8 Right4) (nth 8 Right5)
 (nth 8 Right6) (nth 8 Right7) (nth 8 Right8) (nth 8 Right9) (nth 8 Right98)
 A1
 (nth 9 Right1) (nth 9 Right2) (nth 9 Right3) (nth 9 Right4) (nth 9 Right5)
 (nth 9 Right6) (nth 9 Right7) (nth 9 Right8) (nth 9 Right9) (nth 9 Right98)
 A1
 (nth 10 Right1) (nth 10 Right2) (nth 10 Right3) (nth 10 Right4) (nth 10 Right5)
 (nth 10 Right6) (nth 10 Right7) (nth 10 Right8) (nth 10 Right9) (nth 10 Right98)
 A1
 (nth 11 Right1) (nth 11 Right2) (nth 11 Right3) (nth 11 Right4) (nth 11 Right5)
 (nth 11 Right6) (nth 11 Right7) (nth 11 Right8) (nth 11 Right9) (nth 11 Right98)
 A1
 (nth 12 Right1) (nth 12 Right2) (nth 12 Right3) (nth 12 Right4) (nth 12 Right5)
 (nth 12 Right6) (nth 12 Right7) (nth 12 Right8) (nth 12 Right9) (nth 12 Right98)
 A1
 (nth 13 Right1) (nth 13 Right2) (nth 13 Right3) (nth 13 Right4) (nth 13 Right5)
 (nth 13 Right6) (nth 13 Right7) (nth 13 Right8) (nth 13 Right9) (nth 13 Right98)
 A1
 (nth 14 Right1) (nth 14 Right2) (nth 14 Right3) (nth 14 Right4) (nth 14 Right5)
 (nth 14 Right6) (nth 14 Right7) (nth 14 Right8) (nth 14 Right9) (nth 14 Right98)
 A1
 ;;;;;
 (nth 0 Left1) (nth 0 Left2) (nth 0 Left3) (nth 0 Left4) (nth 0 Left5)
 (nth 0 Left6) (nth 0 Left7) (nth 0 Left8) (nth 0 Left9) (nth 0 Left98)
 A1
 (nth 1 Left1) (nth 1 Left2) (nth 1 Left3) (nth 1 Left4) (nth 1 Left5)
 (nth 1 Left6) (nth 1 Left7) (nth 1 Left8) (nth 1 Left9) (nth 1 Left98)
 A1
 (nth 2 Left1) (nth 2 Left2) (nth 2 Left3) (nth 2 Left4) (nth 2 Left5)
 (nth 2 Left6) (nth 2 Left7) (nth 2 Left8) (nth 2 Left9) (nth 2 Left98)
 A1
 (nth 3 Left1) (nth 3 Left2) (nth 3 Left3) (nth 3 Left4) (nth 3 Left5)
 (nth 3 Left6) (nth 3 Left7) (nth 3 Left8) (nth 3 Left9) (nth 3 Left98)
 A1
 (nth 4 Left1) (nth 4 Left2) (nth 4 Left3) (nth 4 Left4) (nth 4 Left5)
 (nth 4 Left6) (nth 4 Left7) (nth 4 Left8) (nth 4 Left9) (nth 4 Left98)
 A1

```

(nth 5 Left1) (nth 5 Left2) (nth 5 Left3) (nth 5 Left4) (nth 5 Left5)
(nth 5 Left6) (nth 5 Left7) (nth 5 Left8) (nth 5 Left9) (nth 5 Left98)
A1
(nth 6 Left1) (nth 6 Left2) (nth 6 Left3) (nth 6 Left4) (nth 6 Left5)
(nth 6 Left6) (nth 6 Left7) (nth 6 Left8) (nth 6 Left9) (nth 6 Left98)
A1
(nth 7 Left1) (nth 7 Left2) (nth 7 Left3) (nth 7 Left4) (nth 7 Left5)
(nth 7 Left6) (nth 7 Left7) (nth 7 Left8) (nth 7 Left9) (nth 7 Left98)
A1
(nth 8 Left1) (nth 8 Left2) (nth 8 Left3) (nth 8 Left4) (nth 8 Left5)
(nth 8 Left6) (nth 8 Left7) (nth 8 Left8) (nth 8 Left9) (nth 8 Left98)
A1
;;
(nth 0 Right1) (nth 0 Right2) (nth 0 Right3) (nth 0 Right4) (nth 0 Right5)
(nth 0 Right6) (nth 0 Right7) (nth 0 Right8) (nth 0 Right9) (nth 0 Right98)
A1
)
)
;;array
(defun array()
(setq p0 '(0 0) p2 '(0 2) p1 '(2 2)
)

;; (princ "\nChan vit quay phai")
(setq ss1 (ssget "C" p0 p1 ))
(command "MIRROR" ss1 "" p0 p2 "Y")

(setq ss (ssget "C" p0 p1 ))
(command "ARRAY" ss "" "P" p0 NBLADE "" "" )
;;
(setvar "UCSFOLLOW" 1)
(command "UCS" "O" p0 )
(command "ucsicon" "OR" )
(command "UCS" "X" "-90" )
(setq LL (* D2 0.45)
L2 ( / LL 2.0)
D1 (* D2 0.35)
D12 (/ D1 2.0 )
LLM (- 0 (* L2 1.4))
)
(setq
p11 (LIST D12 LLM) p10 (LIST D12 0) P101 (LIST D12 (* L2 0.7) )
P3 (LIST 0 (* L2 2.0) ) P2 (LIST 0 (* L2 1.2))
P7 (LIST (* D12 0.8) (* L2 1.2))
P8 (LIST (* D12 0.4) LLM)
P4 (list (* D12 0.9) (* L2 1.2) )
)
(setvar "surftab1" 40)
(setvar "surftab2" 30)
(command "PLINE" p11 p10 p101 "A" "Second" P4 p3 "Line" p2 p7 p8 "C" )
(setq e1 (entlast))
(command "line" p0 p3 "")
(setq e2 (entlast ))
(command "REVSURF" (list e1 p11) (list e2 p0) "" "" )
(entdel e1)
(entdel e2)

```

```

    (command "UCS" "P")
    (setvar "CMDECHO" cmde)
    (setvar "UCSFOLLOW" ucsf)
    (setvar "surftab1" stab1)
    (setvar "surftab2" stab2)
    (setq p3 '(-2 -2) O '(0 0) p2 '(2 2)
      fr -5 nq 5
    )
    (setq ss2 (ssget "C" p3 p2))
    ;;(setq ss2 (ssget "A" ""))
    (repeat nq
      (command "rotate" ss2 "" O fr)
    )
    ;;(command "UCS" "P")

  )
(gduser)
(dsize)
(dprofil01)
(array)

```

Chương 5

THIẾT KẾ TỐI ƯU TÀU THỦY

5.1 ĐÁNH GIÁ CÁC CHỈ TIÊU KINH TẾ – KỸ THUẬT CỦA TÀU

Tàu dân dụng được thiết kế nhằm thỏa mãn yêu cầu sử dụng của chủ, và đích cuối cùng của việc sử dụng đó là hiệu quả kinh tế. Tàu chở hàng như tàu chở dầu, tàu chở hàng thùng, tàu chở hàng khô, tàu chở hàng rời vv... nhằm đến đích thu được nhiều lợi nhuận từ những chuyến chở hàng. Tàu dịch vụ luôn được yêu cầu thực hiện các dịch vụ bất kể khó, dễ, miễn thu được lợi nhuận cao. Tàu thể thao, du lịch cần rút ngắn thời gian hoàn vốn đến mức ngắn nhất. Hiệu quả kinh tế của tàu được hiểu theo những chỉ tiêu cụ thể, phù hợp với điều kiện khai thác, sử dụng cụ thể.

Điểm hòa vốn

Trong các luận chứng kinh tế kỹ thuật ngày nay người ta yêu cầu phải làm rõ điểm hòa vốn của các dự án đầu tư. Phân tích điểm hòa vốn là chỉ rõ điểm mà tại đó tổng cộng chi phí bỏ ra bằng toàn bộ thu nhập. Nội dung công việc đòi hỏi tính toán định phí, biến phí và thu nhập. Theo quan điểm phần lớn các nhà nghiên cứu, định phí để đầu tư đóng tàu gồm khấu hao tài sản cố định, thuế, nợ, và các khoản chi phí tương tự. Biến phí gồm nhiều thành phần, trong đó lao động và vật tư là thành phần chính.

Nếu ký hiệu BEP – điểm hòa vốn, viết tắt từ tiếng mượn Break-even point, định phí là F, biến phí là V và Q – toàn bộ thu nhập từ khai thác, có thể xác lập quan hệ giữa các đại lượng như sau.

Toàn bộ chi phí $C = F + V$.

Tại điểm hòa vốn phải thỏa mãn điều kiện:

$Q = C$ và do vậy điểm hòa vốn sẽ là:

$$BEP = \frac{F}{I - V} I = \frac{F}{1 - V/I} \quad (5.1)$$

trong đó I - giá tàu.

Đây sẽ là điểm khởi đầu cho dự án. Trường hợp điểm BEP tính toán nhỏ hơn giá trị vừa tính, công trình đầu tư sẽ bị lỗ.

Lợi nhuận tính theo cách trên có dạng:

$$\text{Lợi nhuận } P = Q - C = (P - V) - F. \quad (5.2)$$

Hiệu quả kinh tế của tàu vận tải có thể hiểu theo cách thức hoạt động của tàu. Chi phí cho việc hình thành con tàu gồm chi phí chế tạo tàu, thiết kế, và các biến phí. Trong trường hợp cụ thể V được coi là chi phí lao động, vật tư phục vụ khai thác tính cho thời gian định mức, ví dụ cho 1 năm, như chi phí nhiên liệu, chi phí bảo trì, bảo dưỡng vv... Hiệu quả kinh tế có thể đánh giá qua chỉ tiêu thu nhập từ khai thác tàu hiện hữu. Nếu tổng thu nhập hằng năm từ khai thác tàu là Q, lợi nhuận

tính bằng số tiền còn lại sau khi đã trừ chi phí V sẽ là $(Q - V)$. Chỉ tiêu chung để so sánh thường dùng trong các nước theo định hướng xã hội chủ nghĩa có dạng:

$$E = \frac{Q - V}{I - S} \quad (5.3)$$

Trong đó I – đầu tư đóng tàu, từ phía chủ tàu, S – giá trị tận dụng của công trình, theo cách tính hiện hành trong ngành tàu, giá trị này thường tính bằng 0.

Hệ số 1/E tính từ công thức trên chính là thời gian hoàn vốn, theo cách gọi ban đầu, với giả thiết S không nhất thiết khác không.

$$\tau = \frac{I}{Q - V} \quad (5.4)$$

Tiêu chuẩn để đánh giá tính kinh tế của tàu trong trường hợp này là :

- (1) E phải đạt maximum, hoặc
- (2) τ đạt minimum.

Một cách tính khác được dùng khi tính hiệu quả kinh tế tàu vận tải như sau. Nếu ký hiệu I – vốn đầu tư hình thành con tàu, P – *lợi nhuận hằng năm*, theo giả thuyết $P = \text{const}$. Tỷ lệ P/I mang tên gọi hệ số hoàn vốn (Capital Recovery Factor). Tỷ lệ này có thể tính theo công thức:

$$\text{CRF} = \frac{P}{I}, \quad (5.5)$$

Xác định P và I trong thực tế không phải lúc nào cũng dễ dàng. Trong nhiều trường hợp người thiết kế không thể tin hoàn toàn vào khả năng tính P và I đúng. Bài toán cần được phát biểu theo cách khác, theo chiều hướng giảm thiểu đến mức thấp nhất chi phí sử dụng của tàu, làm cho thành phần lợi nhuận trong bài toán tổng hợp đạt giá trị lớn nhất.

Ví dụ tìm giá trị lớn nhất của CRF, theo nghĩa tìm lời giải tối ưu, có thể thấy qua phép tính cho trường hợp đơn giản sau. Sơ đồ tính dưới đây gần trùng với sơ đồ thiết kế dựa vào phép biến phân, trình bày tại chương đầu.

Xác định giá trị tối ưu của chiều dài tương đối $l = L/B$ tàu vận tải hàng rời (bulkcarrier), sức chở năm vạn tấn sau đây. Tàu được thiết kế theo mẫu đường hình Todd 60 với các thông số chính : $D_0 = 61930t$, $L_0/B_0 = 6,5$, $B_0/T_0 = 3$, $CB_0 = 0,80$. Tàu sẽ được trang bị máy chính công suất 15200PS, dự tính đạt vận tốc 15,65 HL/h.

Sơ bộ xác định trọng lượng vỏ tàu $W_H = 13190t$; trọng lượng buồng máy $W_M = 810t$. Theo thời giá lúc ký hợp đồng chế tạo, vốn đầu tư để đóng tàu được lập như bảng sau, trong đó đơn vị tính bằng 1000 USD.

Thân tàu	$I_H = 7660$
Trang thiết bị toàn tàu	$I_{EQ} = 6580$
Buồng máy	$I_M = 3260$
Các phần khác	610
Cộng	$I = 18110$
Chi phí khai thác mỗi năm dự tính bằng	$K = 1500$;
Doanh thu mỗi năm dự tính bằng	$Q = 3817$.

Những giả thiết đặt ra cho bài toán khi thay đổi $l = L/B$ như sau:

(1) Vốn đầu tư cho tàu vận tải tỷ lệ thuận với trọng lượng con tàu. Trọng lượng này được thể hiện bằng quan hệ với kích thước chính và các hệ số của thân tàu, với thiết bị máy móc trên tàu. Theo thống kê và các phép tính khác, trọng lượng tính toán này tỷ lệ với $l^{0,583}$. Nếu coi giá trị chuẩn $l_0 = L/B = 6,5$, hệ số chuẩn a để xác định trọng lượng vỏ và theo đó, vốn đầu tư phần vỏ bằng đơn vị, khi l thay đổi, hệ số sẽ như sau.

Bảng 5. 1

$l = L/B$	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5
a	0,932	0,967	1	1,029	1,060
$I_{hull}(l=L/B)$	7150	7410	7660	7860	8110

(2) Vốn đầu tư cho buồng máy, trang thiết bị tỷ lệ với công suất máy chính. Mặt khác, công suất này là công suất cần để kéo tàu, đạt vận tốc đã định. Theo cách tính tương tự vốn đầu tư cho buồng máy và chi phí sử dụng buồng máy mỗi năm là hàm của L/B , tính được như sau.

Bảng 5.2

$l = L/B$	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5
A	1,075	1,027	1	0,982	0,995
$I_{machine}(l=L/B)$	3505	3348	3260	3201	3241
$K_{FO}(L/B)$	414	395	385	378	383

Với giả thiết đơn giản trên, nhằm mục đích nghiên cứu, chi phí khai thác thay đổi nhiều hay ít phụ thuộc vào sự đổi thay của chi phí buồng máy. Căn cứ vào các phép tính trên có thể tập hợp bảng tính CRF theo bảng:

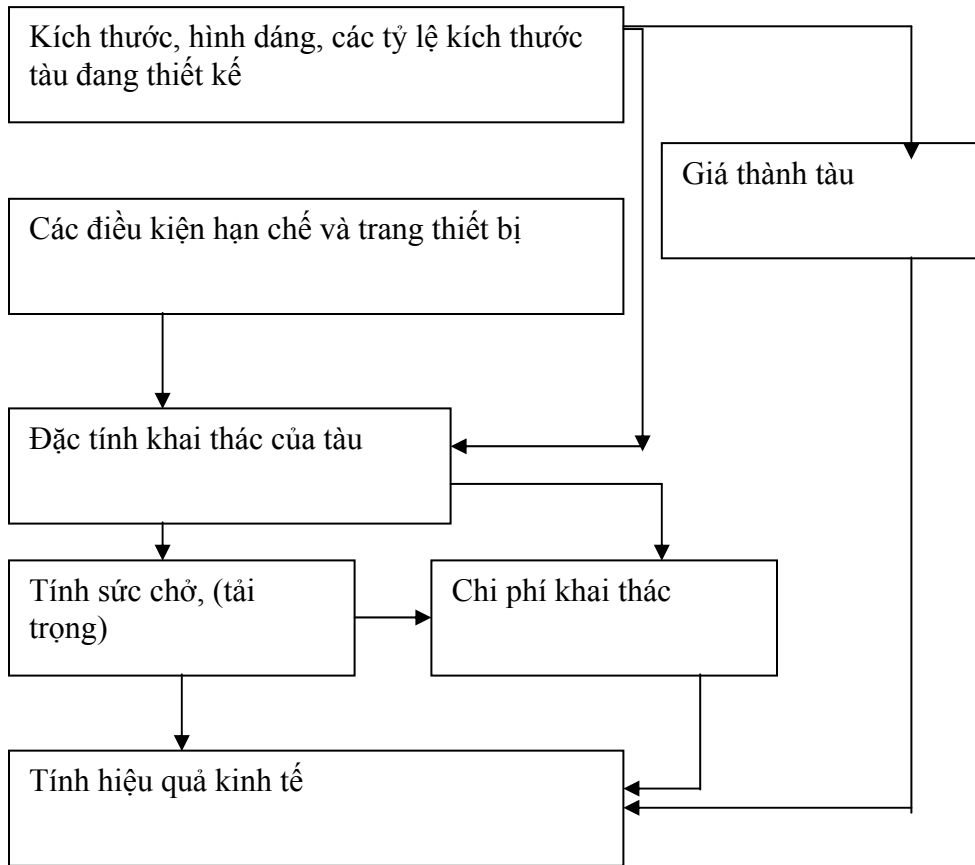
Bảng 5.3

$l = L/B$	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5
I	17840	17950	18110	18260	18550
$K(l=L/B)$ - chi phí sử dụng	1529	1510	1500	1493	1498
Hiệu số $(Q - K)$	2288	2307	2317	2324	2319
$CRF = (Q - K)/I$	0,1281	0,1285	0,1282	0,1272	0,1250

Từ dòng cuối của bảng tính có thể tiến hành dựng đồ thị trình bày quan hệ giữa CRF và $l = L/B$. Từ đồ thị thấy rõ, giá trị lớn nhất của CRF nằm trong giới hạn sau đây của l : $5,92 \div 6,2$.

5.2 SƠ ĐỒ TÍNH HIỆU QUẢ KINH TẾ TÀU

Từ ví dụ có thể thấy, các công việc thiết kế tàu, luôn bắt đầu từ các thông số thuần túy kỹ thuật còn kết thúc phải tìm ở các phép tính hiệu quả kinh tế. Không mấy khi người thiết kế chỉ dựa vào tính nổi, ổn định, độ bền vv... của thân tàu, vào một máy chính cụ thể để đưa ra phương án hoàn thiện về con tàu sắp đóng, mà phải dựa vào khả năng mang lại lợi nhuận của con tàu ấy để xác định sản phẩm tương lai. Quá trình cân nhắc, chọn lựa khi thiết kế tàu thông thường có dạng sau.



Hình 5.1 Sơ đồ thiết kế tàu theo nghĩa tối ưu.

5.3 TỰ ĐỘNG HÓA THIẾT KẾ TÀU VẬN TẢI

5.3.1 Xây dựng bài toán

Công tác xây dựng các yêu cầu cho thiết kế phụ thuộc vào ý định của chủ phương tiện. Những yêu cầu đặt ra khi thiết kế tàu vận tải phải bao gồm:

- (1) Chức năng, nhiệm vụ tàu được thiết kế.
Vùng hoạt động, tầm xa, yêu cầu đặc biệt về điều kiện thời tiết.
- (2) Kiểu dáng tàu.
- (3) Hạn chế về chiều dài, chiều rộng, mớn nước.
- (4) Yêu cầu về máy chính, vận tốc tàu tối thiểu, kiểu thiết bị đẩy tàu.
- (5) Sức chở của tàu.
- (6) Dung tích hầm hàng tối thiểu hoặc bảng liệt kê loại hàng cần chở.
- (7) Bố trí đoàn thủy thủ, điều kiện ăn ở, sinh hoạt của thủy thủ.
- (8) Yêu cầu về đảm bảo an toàn sinh mạng người trên biển, về thông tin liên lạc, về các phương tiện đảm bảo hành hải.
- (9) Yêu cầu về phòng cháy, chống cháy.

vv...

5.3.2 Các bước thực hành tính

1. Xác định lượng chiếm nước tàu không. Trong thành phần lượng chiếm nước D_0 có thể có: trọng lượng thân tàu, trọng lượng máy chính, trọng lượng trang thiết bị, các vật liệu khác tham gia vào trọng lượng toàn tàu mà người đóng tàu đưa vào tàu. Mỗi thành phần trọng lượng tính theo cách riêng, phụ thuộc vào bản chất của chúng. Trọng lượng vỏ tàu là hàm số của chiều dài, chiều rộng, chiều cao, các boong, thượng tầng, phụ thuộc vào các tỷ lệ kích thước tàu. Trọng lượng buồng máy phụ thuộc vào công suất máy chính và các máy phụ, thiết bị chuyên ngành. Trọng lượng các nhóm khác tùy vào số lượng thiết bị, trọng lượng đơn vị vv... Công thức tính toán cho phần này tìm thấy tại phần 1: các công thức 1.2 đến 1.9.

2. Tính sức chở deadweight của tàu $DWT = D - D_0$
3. Tính dung tích hầm hàng dùng để chứa hàng cho toàn tàu.
4. Tính dung tích đăng ký GT và NT, theo công ước quốc tế.
5. Tính trọng lượng W_i , trọng tâm các thành phần tham gia vào D.
6. Tiến hành kiểm tra các thông số và tính năng tàu theo các Công ước quốc tế và luật quốc gia.

6.1 Mạn khô tàu : $H - T \geq F_b$ theo công ước quốc tế

6.2 Ổn định: $GM_0 \geq GM_{0,min}$

$$GZ_{30} \geq GZ_{30,min}$$

$$GZ_{60} \geq GZ_{60,min}$$

$$40^\circ \geq \varphi_m \geq 30^\circ \text{ và } GZ_m \geq GZ_{min}$$

$$\tau_{min} \leq \tau \leq \tau_{max}$$

$$\text{Hệ số an toàn } K \geq 1.$$

Tất cả bất đẳng thức trong phần vừa nêu được chuyển về dạng công thức của những biến không thứ nguyên như đã trình bày tại phần ổn định và mạn khô tàu, phần thiết kế tàu, chương 1.

7. Tính đi biển, khả năng chịu sóng của tàu trong quá trình hành trình trên biển:

$$\text{Góc lắc } \theta_k \leq \theta_{k,limit} \text{ trong đó } k=1,2,3, \dots, 6$$

$$\text{Gia tốc lắc } \ddot{\theta}_k \leq \ddot{\theta}_{k,limit} \text{ trong đó } k=1,2, \dots, 6$$

Cách xác định các thông số liên quan đến ổn định, mạn khô, lắc tàu trên sóng vv... được thực hiện trong các mô đun riêng.

8. Tính sức cản vỏ tàu theo các phương pháp giành cho tàu vận tải. Các phương pháp tính nhờ kết quả phân tích hồi qui được áp dụng vào giai đoạn này. Giải thuật tính, chương trình tính được trình bày tại chương 3 tài liệu. Với đường cong sức cản vừa tìm được, tiến hành chọn máy tàu đủ để tàu thắng sức cản trong mọi điều kiện khai thác. Với vỏ tàu đang có, với máy tàu vừa chọn, thiết kế chân vịt phù hợp với chế độ khai thác: chân vịt tối ưu, tận dụng đầy đủ theo nghĩa tốt nhất, công suất sẵn của máy, đẩy tàu đi với vận tốc không nhỏ hơn vận tốc đã đặt ra cho khai thác. Nói cách khác, phải thiết kế chân vịt tối ưu, theo chế độ chạy tự do, trong chế độ ấy chân vịt đạt hiệu suất cao nhất.

9. Từ cơ sở trọng lượng tàu, trang thiết bị, máy móc trên tàu tiến hành tính chi phí vật tư thiết bị, công lao động, chi phí sản xuất vv... để hình thành giá sản phẩm. Từ sức chở, tốc độ, bố trí

lao động, tổ chức sản xuất tiến hành tính chi phí khai thác và thu nhập từ quá trình khai thác. Tổng hợp các vấn đề trên trong bài toán tính kinh tế của tàu. Trong bài toán này mỗi thành phần x_j , $j=1,2, \dots$ đóng vai trò biến của hàm mục tiêu $f(\mathbf{x})$.

5.3.3 Giải bài toán

Giải theo các phương pháp kinh điển

Các phương pháp tính kinh điển được áp dụng xử lý bài toán thiết kế thường gặp. Các phép tính cụ thể được thực hiện theo chương trình. Dữ liệu thu nhập từ thống kê được giữ lại trong các text file, sẽ đưa vào sử dụng khi chương trình gọi. Thứ tự thực hiện bài toán thiết kế theo cách kinh điển được minh họa bằng ví dụ dưới đây.

Cần thiết kế tàu vận tải hàng khô, sức chở 13000dwt, khai thác với vận tốc 18 HL/h. Tàu được trang bị máy diesel làm máy chính.

Sơ bộ xác định lượng chiếm nước

Từ lý thuyết thiết kế tàu, cách xác định D nhanh nhất là sử dụng hệ số hiệu năng sức chở, tính bằng tỷ lệ giữa sức chở và lượng chiếm nước η_{DW} .

$$D = \frac{DWT}{\eta_{DW}} \quad (5.6)$$

Dữ liệu cho η chọn bằng công tác thống kê. Với tàu vận tải thường gặp hệ số này khoảng 0,7.

$$D = \frac{13000}{0,7} = 18600t$$

Chiều dài thiết kế của tàu vận tải tùy thuộc vào lượng chiếm nước và vận tốc khai thác. Một trong những công thức có độ tin cậy cao là công thức của Posdiunine, dùng cho tàu vận tải thể hệ những năm sáu mươi, bảy mươi:

$$L = c \left(\frac{V_s}{2 + V_s} \right)^2 \sqrt[3]{D}, [m] \quad (5.7)$$

Hệ số c trong trường hợp cụ thể bằng 7,16. Chiều dài thiết kế tính từ công thức sẽ là $L = 153,5m$ (504').

$$\text{Vận tốc tương đối (corresponding speed): } v = \frac{V_s}{\sqrt{L}} = \frac{18}{\sqrt{504}} \approx 0,8.$$

$$\text{Hệ số béo thân tàu } C_B = 1,06 - \frac{1}{2} \frac{V_s}{\sqrt{L}} = 0,66.$$

$$\text{Tỷ lệ } L/B = 2.L^{1/4} = 7.$$

Tỷ lệ B/T được chọn nhằm đảm bảo các yêu cầu về ổn định tàu, $B/T = 2,3$.

Tỷ lệ H/T nhằm đảm bảo đòi hỏi về chiều cao mạn khô tàu: $H/T = 1,42$.

Trên cơ sở các kích thước chính tiến hành xác định trọng lượng và trọng tâm tàu theo các công thức kinh nghiệm.

Trọng lượng tàu:

$$D = W_{HF} + W_M + W_{DW} + W_R \quad (5.8)$$

Trong đó : W_{HF} – trọng lượng thân tàu và trang thiết bị tàu, W_M – trọng lượng buồng máy, W_{DW} – sức chở (hàng hóa), W_R – trọng lượng dự trữ.

$$\gamma .L.B.T.C_B = W_{HF} + W_M + W_{DW} + W_R$$

Tiếp tục thay thế các biểu thức tính trọng lượng về phải bằng các công thức kinh nghiệm có thể viết:

$$\gamma .L.B.T. C_B = .L.B.H.p_{HF} + BHP.p_M + (W_{DW} + W_R)$$

Từ đó:

$$\gamma . C_B.(L/B).B.B.(T/B).B = (L/B).B.B.(T/B).(H/T).B.p_{HF} + BHP.p_M + (W_{DW} + W_R).$$

Thay thế ký hiệu $L/B = l$; $B/T = b$; $H/T = h$ vào phương trình trên đây, có thể viết:

$$\gamma . C_B. l.(l/B).B^3 = l.(l/B).h.B^3. p_{HF} + BHP.p_M + (W_{DW} + W_R). \quad (5.9)$$

Công suất máy chính trong giai đoạn thiết kế sơ bộ có thể thay bằng công thức liên quan đến D và V_s .

$$\gamma . C_B. l.(l/b).B^3 = l.(l/b).h.B^3. p_{HF} + \frac{D^{2/3}V_s^3}{c}.p_M + (W_{DW} + W_R) \quad (5.10)$$

Thay biểu thức của D bằng biểu thức từ về phải, sẽ nhận được:

$$\gamma . C_B. l.(l/b).B^3 = l.(l/b).h.B^3. p_{HF} + \frac{(\gamma .C_B.(l/b).B^3)^{2/3}V_s^3}{c}.p_M + (W_{DW} + W_R)$$

hoặc:

$$\gamma . C_B. l.(l/b).B^3 = l.(l/b).h. p_{HF}.B^3 + \frac{(\gamma .C_B.(l/b).)^{2/3}V_s^3}{c}.p_M .B^2 + (W_{DW} + W_R)$$

và sau đó:

$$(\gamma .C_B. (l/b) - (l/b).h.p_{HF}).B^3 - \frac{(\gamma .C_B.(l/b).)^{2/3}V_s^3}{c}.p_M .B^2 - (W_{DW} + W_R) = 0. \quad (5.11)$$

Từ phương trình cuối sẽ tìm được nghiệm B .

Kích thước chính còn lại xác định theo công thức:

$$L = (L/B).B;$$

$$T = (T/B).B;$$

$$H = (H/T).T;$$

Khi đã có L, B, T, C_B , vv... tiến hành tính lại D của tàu.

$$\text{Sử dụng công thức } (\gamma .C_B. (l/b) - (l/b).h.p_{HF}).B^3 - \frac{(\gamma .C_B.(l/b).)^{2/3}V_s^3}{c}.p_M .B^2 - (W_{DW} + W_R)$$

$= 0$, trong đó W_R chiếm khoảng 2% sức chở, tính bằng 260t, tiếp tục tính phương trình trọng lượng.

Từ thống kê có thể nhận được các giá trị $c = 400$; $p_{HF} = 0,1295 \text{ t/m}^3$; $p_M = 0,077 \text{ t/HP}$.

$$[1,031 \cdot 0,66 \cdot (7/2,3) - (7/2,3) \cdot 1,42 \cdot 0,1295] B^3 - \frac{\left(1,031 \cdot \frac{7}{2,3} 0,66\right)^{2/3}}{400} \cdot 18,0^3.$$

$$0,077 \cdot B^2 - (13000 + 260) = 0;$$

Sau rút gọn phương trình có dạng:

$$1,512 B^3 - 1,82B^2 - 13260 = 0;$$

Nghiệm $B = 21,1 \text{ m}$.

Từ đó : $L = 147,7\text{m}$; $T = 9,2\text{m}$; $H = 13,05\text{m}$.

$$LBH = 147,7 \times 21,1 \times 13,05 = 40600 \text{ m}^3.$$

$$D = 19400 \text{ t}.$$

$$W_{HF} = LBH \cdot p_{HF} = 40600 \times 0,1295 = 5260 \text{ t}.$$

Sức cản tàu

$$\text{Sức cản tàu tính cho trường hợp cũ thể : } L / \nabla^{1/3} = 147,7 / 19000^{1/3} = 5,5;$$

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{gL}} = \frac{9,25}{\sqrt{9,81 \times 147,7}} = 0,243; \quad C_B = 0,66; \quad C_M = 0,981; \quad C_P = 0,673.$$

$$WS = 2,73 \cdot \sqrt{D \cdot L} = 4600 \text{ m}^2.$$

Từ đồ thị sức cản tàu vận tải, theo phương pháp Harwald – Guldhammer có thể đọc được hệ số sức cản dư $C_R = 1,234 \times 10^{-3}$. Sau hiệu chỉnh theo B/T thực tế hệ số lực cản mang giá trị $C_R = 1,21 \times 10^{-3}$.

$$\text{Sức cản ma sát : } C_F = 1,49 \times 10^{-3}. \text{ Sau hiệu chỉnh cho các phần lồi } C_F = 1,54 \times 10^{-3}.$$

$$\text{Hệ số sức cản } C_T = (1,21 + 1,54) \times 10^{-3} = 2,75 \times 10^{-3}.$$

$$\text{Sức cản vỏ tàu : } R_T = \frac{1}{2} \rho V^2 \cdot WS = 57000 \text{ kG}.$$

Công suất kéo cần tính theo công thức:

$$EPS = \frac{R_T \cdot V}{75} = \frac{5700 \cdot 9,25}{75} = 7030 [HP]$$

Với hiệu suất chân vịt, theo chế độ chạy tự do, khoảng $\eta_{cv} = 0,70$, công suất cần thiết để đẩy tàu phải là :

$$BHP = EPS / \eta_{CV} = 10043 \text{ PS}.$$

Với dự trữ công suất chừng 25%, cần thiết chọn máy 12500 PS.

Trọng lượng buồng máy tính theo công thức :

$$W_M = BHP \cdot p_M = 12500 \times 0,077 = 962 \text{ t}.$$

Theo cách tính này, trọng lượng tàu sẽ là:

$$D = 5260 + 962 + 13260 = 19482 \text{ t}.$$

So với lượng chiếm nước tính toán, trọng lượng dự trữ bị giảm 82 t, điều đó có thể chấp nhận được khi thiết kế.

Giải theo phương pháp biến phân

Phương pháp này được giáo sư Nogid đề cập từ những năm năm mươi. Ngày nay với công nghệ tính toán phát triển, phương pháp này dễ đưa vào chương trình và tính tự động. Thứ tự sau được chương trình hóa.

Bảng 5.4

	$C_B = CB_1$			$C_B = CB_2$		
	$\left(\frac{L}{B}\right)_1$	$\left(\frac{L}{B}\right)_2$	$\left(\frac{L}{B}\right)_3$	$\left(\frac{L}{B}\right)_1$	$\left(\frac{L}{B}\right)_2$	$\left(\frac{L}{B}\right)_3$
$L_0 = D_0^{1/3} \left[\frac{1}{\gamma \cdot \delta} \left(\frac{L}{B}\right)^2 \frac{B}{T} \right]^{1/3}$						
$B_0 = \frac{B}{L} \cdot L_0$						
$T_0 = \frac{T}{B} \cdot B_0$						
$H_0 = \frac{H}{T} \cdot T_0$						
Công suất máy BHP ₀ , xem bảng dưới						
P ₁						
P ₂						
...						
P _n						
Σ						
$dP = D_0 - \Sigma = \xi \cdot dP$						
$D = D_0 - dD$						
$k = \left(\frac{D}{D_0}\right)^{1/3}$						
$BHP = BHP_0 k^2$						
$L = L_0 \cdot k$						
$B = B_0 \cdot k$						
$T = T_0 \cdot k$						
$H = H_0 \cdot k$						

Bước tiếp theo tiến hành tính sức cản tàu cho tất cả phương án, theo mẫu tương tự. Sau khi có sức cản, động tác tiếp theo là xác định công suất máy chính. Cách làm không khác các động tác vừa nêu trong ví dụ vừa trình bày.

Xác định công suất máy.

Bảng 5.5

	$C_B = C_{B\ 1}$			$C_B = C_{B\ 2}$		
	$\left(\frac{L}{B}\right)_1$	$\left(\frac{L}{B}\right)_2$	$\left(\frac{L}{B}\right)_3$	$\left(\frac{L}{B}\right)_1$	$\left(\frac{L}{B}\right)_2$	$\left(\frac{L}{B}\right)_3$
V_{econ}						
R, từ bảng tính sức cản						
w, hệ số dòng theo						
t, hệ số lực hút						
$\eta_V = \frac{1-t}{1-w}$						
$T = \frac{R}{1-t}$						
$D_{CV} = aT$						
$\eta = \eta_v \eta_p \xi_r$						
$EPS = \frac{RV_{econ}}{75} \frac{1}{\eta}$						

Tính ổn định của tàu được xác định thông qua các kích thước và tỷ lệ giữa chúng. Từ đảm bảo ổn định tiến hành xác định các tỷ lệ kích thước quan trọng của phần này.

Chiều cao tâm nghiêng:

$$\left(\frac{\overline{GM}}{B}\right)_i = f_i\left(C_B, \frac{L}{B}, \frac{B}{T}, D, \dots\right)$$

Mạn khô:

$$\left(\frac{H}{T}\right)_i = f_i\left(C_B, \frac{L}{B}, \frac{B}{T}, \frac{GM}{B}, \dots\right)$$

Các quan hệ trên đây cũng là đối tượng biến phân, có thể tìm trong các bảng.

Bảng 5.6

	$(L/B) = (L/B)_1$			$L/B = (L/B)_2$		
	$C_{B\ 1}$	$C_{B\ 2}$	$C_{B\ 3}$	$C_{B\ 1}$	$C_{B\ 2}$	$C_{B\ 3}$
$CW = f(C_B)$						
$K_1 = f(C_W, C_B)$						
$K_2 = f(C_W, C_B)$						
$\left(\frac{\overline{GM}}{B}\right)_i = f_i\left(C_B, \frac{L}{B}, \frac{B}{T}, D, \dots\right)$						
$\left(\frac{H}{T}\right)_i = f_i\left(C_B, \frac{L}{B}, \frac{B}{T}, \frac{GM}{B}, \dots\right)$						
$\left(\frac{B}{T}\right)_{ij} = f_{ij}(C_B, L/B)$						

Xác định tỷ lệ B/T là hàm của C_B , và L/B

Bảng 5.7

	(L/B) ₁			(L/B) ₂		
	C _{B 1}	C _{B 2}	C _{B 3}	C _{B 1}	C _{B 2}	C _{B 3}
$L = l.D^{1/3}$						
$F_n = f(L)$						
$C_p = f(F_n)$						
$C_w = f(C_p, F_n)$						
$K_1 = f(C_w, C_B)$						
$K_2 = f(C_w, C_B)$						
$\left(\frac{GM}{B}\right)_i = f_i\left(C_B, \frac{L}{B}, \frac{B}{T}, D, \dots\right)$						
$\left(\frac{H}{T}\right)_i = f_i\left(C_B, \frac{L}{B}, \frac{B}{T}, \frac{GM}{B}, \dots\right)$						
$\left(\frac{B}{T}\right)_{ij} = f_{ij}(C_B, L/B)$						

Giải theo phương pháp tối ưu hóa

Bài toán vừa xây dựng có dạng:

$$f(\mathbf{x}) \rightarrow \min. \quad (5.12)$$

trong đó $\mathbf{x} = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$

Xác định trong miền:

$$b(\mathbf{x}) \geq g. \quad (5.13)$$

$$x_{i, \max} \geq x_i \geq x_{i, \min};$$

Kích thước chính của tàu được so sánh với hạn chế cho trước :

$$l_{i, \min} \leq l_i \leq l_{i, \max} \quad (5.14)$$

Một trong những phương án tính kích thước chính tàu chở hàng khô, sức chở DWT cho trước có thể như sau.

a) Chọn các thông số tham gia trong hàm mục tiêu:

$$x_1 \equiv D - \text{lượng chiếm nước } D = \sum W_i;$$

$$x_2 \equiv F_n = \frac{v}{\sqrt{gL}}$$

$$x_3 \equiv h \equiv \frac{T}{H}$$

$$x_4 \equiv b \equiv \frac{B}{T}$$

$$x_5 \equiv \frac{L}{H}$$

$$x_6 \equiv CB \quad (\delta);$$

b) Các kích thước chính có thể tính theo phương án sau:

$$L = \frac{1}{g} \cdot \left(\frac{v}{Fn} \right)^2 = \frac{v^2}{g} \cdot \frac{1}{x_2^2}$$

$$B = \frac{B}{T} \cdot T = x_4 \cdot T$$

$$\text{với } T = \frac{D}{\gamma \cdot CB \cdot L \cdot B} = \frac{D}{\gamma \cdot CB \cdot L \cdot \frac{B}{T} \cdot T} = \sqrt{\frac{x_1}{\gamma \cdot x_6 \cdot \frac{v^2}{g} \cdot \frac{1}{x_2^2} \cdot x_4}}$$

$$H = \frac{L}{(L/H)} = \frac{\frac{v^2}{g} \cdot \frac{1}{x_2^2}}{x_5}$$

vv...

c) Khi đã xác định D, L, B, H, T, CB, . . ., các hệ số đầy khác, tâm nổi phần chìm, góc lượn phía mũi, vv... và đường hình tàu, bố trí chung, có thể bắt tay tính sức cản vỏ tàu là hàm của vận tốc, chọn máy chính và thiết kế chân vịt tàu.

Với kích thước đã có bắt tay tính trọng lượng, trọng tâm tàu, sức chở của tàu và dung tích tàu, trong đó có dung tích hầm hàng. Phương trình trọng lượng tàu là hàm số của kích thước chính, tỷ lệ kích thước, các thiết bị, máy chính vv... Công thức cần thiết cho phần này được trình bày tại chương 1.

Các máy phụ và trang bị khác được chọn tiếp trong giai đoạn thiết kế này.

Từ các thông số kỹ thuật đang có bắt đầu tính các phép tính liên quan đến tài chính và tính kinh tế của tàu. Cách làm thông thường trong giai đoạn này bao gồm:

1. Tính các thành phần trọng lượng tàu và trọng tâm của chúng, tham gia trong $D = \sum W_i$. Trong công thức này D còn được hiểu $D = \gamma \cdot L \cdot B \cdot T \cdot CB$.
2. Tính giá tàu hay tổng số vốn đầu tư hình thành con tàu I, giá thành này luôn gắn liền với kích thước tàu, chức năng, trang thiết bị và cách thức thi công.
3. Tính lượng hàng hóa do tàu chuyên chở trong một năm và tiếp đó doanh thu từ công việc vận tải này, tính bằng tiền, Q, theo thực tế khai thác.
4. Tính chi phí khai thác tàu trong năm theo các phương thức tính đang áp dụng trong quản lý tài chính doanh nghiệp V.

Tính hiệu quả kinh tế của tàu vận tải tiến hành theo nhiều tiêu chuẩn khác nhau. Hai cách làm sau đây thuộc dạng giản đơn nhất, dễ sử dụng.

1) Hiệu quả kinh tế được đánh giá theo quan hệ giữa lợi nhuận thuần trong năm với tổng số vốn đầu tư hình thành tàu:

$$E = \frac{P}{I} = \frac{Q - V}{I}, \text{ hiệu quả kinh tế phải đạt giá trị lớn nhất.}$$

Tỷ lệ nghịch của E được gọi là thời gian hoàn vốn $\tau = \frac{I}{Q - V}$, thời gian này phải là ngắn nhất khi tính cho nhiều phương án.

2) Khấu hao tài sản cố định được thực hiện theo cách thức mà ngành tài chính đã qui định. Thông lệ, trong ngành chế tạo tàu và khai thác tàu, khấu hao theo cách thức chia đều khấu hao cho các năm. Giả sử tỷ lệ khấu hao tàu là q, tính bằng %, từ tổng vốn đầu tư, số tiền khấu hao được gộp chung với

chi phí V để hình thành tổng chi phí khai thác trong năm sẽ ký hiệu là: $Q' = V + q \cdot I$. Hiệu quả kinh tế của tàu vận tải được xét qua chỉ tiêu thể hiện trong mối quan hệ giữa Q' và Q .

$$\eta = \frac{V + qI}{Q} = \frac{V}{Q} + q \frac{I}{Q} \quad (5.15)$$

Trong các bài toán thiết kế tàu vận tải, hệ số η phải đạt giá trị nhỏ nhất.

Phần tiếp theo trình bày những thủ tục thiết kế tàu vận tải ven biển sức chở dưới 3000tdw trên cơ sở lý thuyết tối ưu. Nội dung trình bày tại đây được chép lại từ bài báo “Thiết kế tàu vận tải biển tối ưu”, của TCN, trong tạp chí “Nghiên cứu thiết kế máy công nghiệp”, 10, 1984, Hà nội. Thiết kế tàu vận tải theo lý thuyết tối ưu trong bài báo này đã bắt đầu từ 1980, sau thời gian thử nghiệm và sửa chữa đến 1982 mới ổn định. Bài báo giúp người đọc làm quen với các thủ tục thiết kế, tuy nhiên khi thiết kế thật sự người thiết kế cần cải biên những công thức xuất hiện trong đó cho hợp với điều kiện làm việc hiện nay.

Trong chương trình đầu tiên này đã sử dụng phương pháp *tìm trực tiếp (direct search)*. Trong số các giải thuật tốt nhất của phương pháp gồm giải thuật Simplex, Complex, giải thuật Zangwill và Rosenbrock người viết bài này đã mượn thủ tục giành riêng cho các phương pháp toán tối ưu không sử dụng gradient, chọn lọc từ các ưu việt của các phương pháp. Thủ tục được viết cho bài toán không bị hạn chế, song phạm vi áp dụng mở rộng cho các bài toán mà các biến của nó bị hạn chế. Tất cả mọi hạn chế của biến được xét và xử lý ngay khi tìm hướng tiến hoặc lùi. Thủ tục cho lời giải tối ưu này do viện hạt nhân tại bang Ohio (USA) viết từ những năm bảy mươi bằng ngôn ngữ FORTRAN IV. Để tiện sử dụng trong các bài toán hiện nay, thủ tục được dịch sang C, chạy song song với chương trình nguyên thủy. Vector x trong chương trình chỉ chứa 9 thành phần để chương trình được gọn, nhẹ.

Kết quả tính thử theo chương trình thiết kế tàu vận tải

Chương trình được sử dụng vào việc lập phương án cho thiết kế tàu vận tải ven biển sức chở từ 500tdw đến 3000tdw. Thời bấy giờ tàu vận tải cỡ nhỏ, chạy ven biển Việt nam đang là nhu cầu cần thiết. Cũng tại thời điểm đó khả năng đóng tàu lớn nhất của chúng ta không vượt quá tàu 3000tdw, các hải cảng tại các địa phương còn bị hạn chế về độ sâu luồng lạch và khả năng tiếp nhận tàu lớn. Từ tình hình đó yêu cầu cho thiết kế phải là, thiết kế tàu với kích thước không bị hạn chế và thiết kế tàu có món nước hạn chế trong vận tải sông-biển.

$$x_1 \equiv D - \text{lượng chiếm nước } D = \sum W_i;$$

$$x_2 \equiv Fn = \frac{v}{\sqrt{gL}}$$

$$x_3 \equiv h \equiv \frac{T}{H}$$

$$x_4 \equiv b \equiv \frac{B}{T}$$

$$x_5 \equiv \frac{L}{H}$$

$$x_6 \equiv C_B (\delta);$$

$$x_7 \equiv C_M (\beta);$$

$$x_8 \equiv X_c/L, \text{ tính từ giữa tàu,}$$

$$x_9 \equiv \alpha_{\text{góc bo mũi}}$$

Chương trình áp dụng vào thiết kế tàu vận tải hàng khô, hàng tổng hợp, sức chở 1500 tấn theo hai phương án :

- (1) Tàu tối ưu, kích thước chính không bị hạn chế,
 (2) Tàu tối ưu, mớn nước bị hạn chế theo yêu cầu chủ tàu.

Kết quả tính trên máy IBM 360/40 năm 1982 như sau:

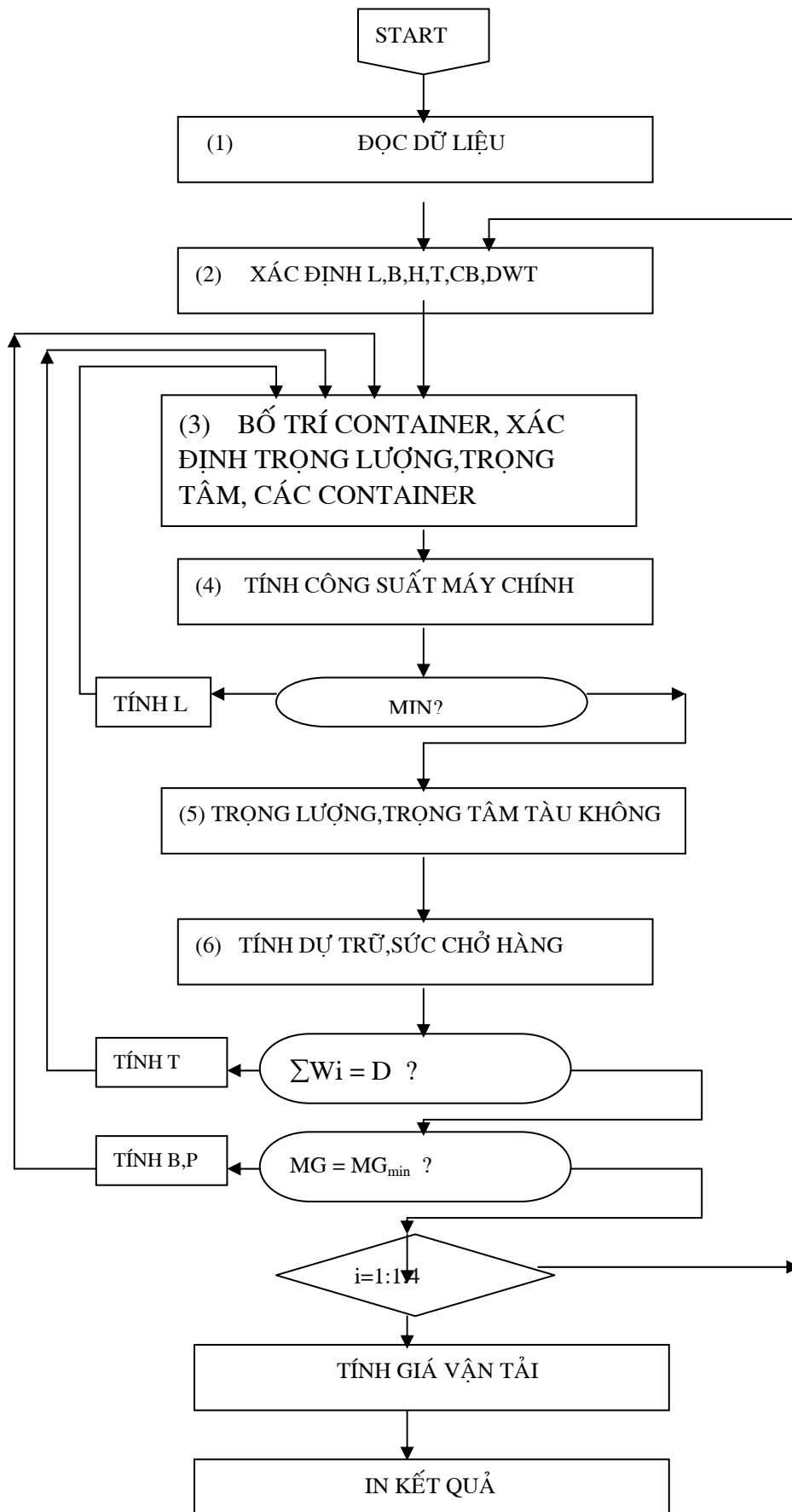
Bảng 5.8

<i>Tên gọi</i>	<i>Ký hiệu & đơn vị</i>	<i>Tàu có T hạn chế</i>	<i>Tàu với T không hạn chế</i>
Chiều dài giữa 2 trụ	Lpp, m	86,88	66,8
Chiều rộng	B, m	10,92	12,15
Mớn nước	T, m	3,90	4,34
Chiều cao	H, m	4,94	5,72
Hệ số đầy t. tích	C _B	0,66	0,655
Vận tốc tàu	v, HL/h	10,0	10,0
Lượng chiếm nước	D, t	2510	2387
Trọng tải	dwt	1565	1562
Tâm nổi	Xc, %L	1,5	1,4
Khối lượng			
Vỏ thép	t	664	535
Gỗ	t	43,4	43,1
Trang thiết bị	t	100,7	100,1
Buồng máy	t	59	59
Hệ thống tàu	t	22,5	22,5

Thiết kế tàu chở container

Tàu chở container được thiết kế nhằm chở được nhiều container nhất, khai thác thuận lợi và mang lại hiệu quả kinh tế cao nhất. Điểm đặc biệt so với việc thiết kế các tàu khác là kích thước chính của tàu chọn trên nguyên tắc chứa gọn được những thùng hàng tiêu chuẩn, không thừa phí không gian. Thùng hàng tiêu chuẩn gọi là TEU, container dài 20', tiết diện ngang 8'x8'. Thùng dài 40' được tính thành 2 TEU.

Trọng lượng qui ước của container 20' là 20t, của thùng dài 40' là 33t. Khi xếp chồng, container tầng dưới nặng nhất, trọng lượng riêng mỗi TEU tầng thứ hai nhận trung bình 14t; Các thùng tầng trên nhẹ nhất.



Hình 5.2

Qui trình tính như sau.

Chiều dài tàu:

$$L = \frac{k(l_c + 2\delta_{lk}) + 2l_h \cdot N + L_a}{1 - l_m - l_{ap} - l_{fp}} \quad (5.16)$$

trong đó k – số cột, tính dọc tàu,

l_c - chiều dài container, δ_b – khe hở giữa các container, tính theo chiều ngang, l_h - khoảng cách từ vách đến mép miệng hầm hàng, N – số khoang, L_a – chiều dài khoang hàng mũi, không dùng để chứa container.

Tại mẫu số : l_m – tỷ lệ chiều dài buồng máy và chiều dài tàu, l_{ap} – tỷ lệ chiều dài khoang lái và chiều dài tàu, l_{fp} – tỷ lệ chiều dài khoang mũi và chiều dài tàu.

Chiều rộng tàu

Chiều rộng tàu trong lần thử đầu :

$$B = M(b_c + 2\delta_b) + b_{dl} + 4b_{dl2} + 2b_{sh} \quad (5.17)$$

Trong đó:

M – số hàng theo chiều cao,

b_c - chiều rộng container, δ_b – khe hở giữa các container, b_{dl} – chiều rộng xà dọc boong giữa, b_{dl2} - nửa chiều rộng xà dọc boong, b_{sh} - chiều rộng tôn mép boong.

Món nước tàu tính theo công thức :

$$T = \frac{B}{(B/T)} \quad (5.18)$$

Chiều cao mạn tính theo điều kiện đảm bảo xếp gọn container trong khoảng không hạn chế của chiều cao hầm hàng.

$$H = L \cdot h_c + h_b - h_{z1} \quad (5.19)$$

trong đó L – số lớp container xếp trong hầm hàng,

h_c = chiều cao container, h_b – chiều cao đáy tàu, h_{z1} - chiều cao đo từ mặt sàn boong đến mặt trên của container chắt trong hầm hàng.

Lượng nước ballast trong lần thử đầu tiên nhận bằng 0, các lần sau mang giá trị biến thiên nhất định.

Sắp xếp container và tính trọng tâm trọng lượng của các container.

Container được bố trí trong các hầm hàng và cả trên boong tàu. Container được xếp thành hàng và cột.

$$\text{Số container trong các hầm hàng : } C_H = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^L m_{i,j} \quad (5.20)$$

$$\text{Số container trên boong : } C_D = L_d \sum_{i=1}^k m_{i,j} \quad (5.21)$$

Trong đó $m_{i,j}$ số container tại lớp j , cột i .

Trọng lượng hàng chứa trong các container.

Trọng lượng và trọng tâm hàng chứa trong các container được tính cho cả các thùng chứa trong hầm hàng và thùng trên boong, theo cách sắp xếp vừa nêu.

Trọng lượng và trọng tâm tàu không

Khi tính trọng lượng tàu chở hàng thùng có thể sử dụng cách tính đã áp dụng cho tàu chở hàng khô, cùng tính năng. Trọng lượng tàu chở hàng thùng sẽ lớn hơn khoảng 7 – 8% so với tàu chở hàng khô cùng kích cỡ, tính năng.

Trọng lượng tàu không bao gồm các thành phần: vỏ thép, thượng tầng, trang thiết bị, buồng máy, và các trang thiết bị đặc biệt.

$$W = W_h + W_{\text{sup}} + W_f + W_m + W_{\text{sp}} \quad (5.22)$$

Mặt khác trọng lượng thành phần tính theo các phương thức đã biết:

$$W_h = c_h \cdot (CB)^{1/3} L^{3/2} B H^{1/2} \quad (5.23)$$

$$W_{\text{sup}} = c_{\text{sup}} \cdot L \cdot B \quad (5.24)$$

$$W_f = c_f \cdot (L \cdot B \cdot H)^{2/3} \quad (5.25)$$

$$W_{\text{sp}} = \sum W_k \quad (5.26)$$

$$W_m = c_m \cdot (BHP) \quad (5.27)$$

Trọng tâm tàu không tính theo công thức :

$$Z_g = \frac{\sum_i W_i \cdot x Z_i}{\sum_i W_i} \quad (5.28)$$

Tính trọng lượng dự trữ

$$W_{dt} = W_{FO} + W_{LUB} + W_{FW} + W_{\text{crew}} \quad (5.29)$$

trong đó các thành phần được tính theo cách sau:

Nhiên liệu $W_{FO} = c_{fo} \cdot p \cdot BHP \cdot R / v$ với c_{fo} – hệ số dự trữ, thông thường nhận $1,15 \div 1,175$; p – suất tiêu hao nhiên liệu, có thể nhận $170 \div 180$ g/PS.h; R – tầm hoạt động tính bằng NM, v – vận tốc khai thác của tàu.

$$\text{Dự trữ nhớt } W_{LUB} = 0,07 \cdot (BHP) / 1000 + 0,05 W_{FO}, \text{ tính bằng tấn;} \quad (5.30)$$

Dự trữ nước ngọt W_{FW} , trọng lượng đoàn thủy thủ cùng lương thực, thực phẩm tính theo thông lệ .

Tính các chỉ tiêu kinh tế – kỹ thuật

Trong phần này cần thiết xác định chi phí khai thác hằng năm của tàu, như vẫn thực hiện khi thiết kế các kiểu tàu khác.

Năng lực vận chuyển mỗi năm của tàu, tính bằng tấn.km:

$$Q_h = k_1 \cdot k_2 \cdot S \cdot n \quad (5.31)$$

Trong đó : S – số TEU trên tàu, k_1 - hệ số sử dụng hầm hàng, k_2 - hệ số thay đổi mặt hàng trên tuyến đường nhất định, và n – số vòng quay trong năm.

Doanh thu từ công tác vận chuyển container:

$$Q = f \cdot Q_h, \text{ với } f - \text{biểu giá vận chuyển đang áp dụng.} \quad (5.32)$$

Lợi nhuận thu được hằng năm:

$$P = Q - V. \quad (5.33)$$

Cách tính chi phí khai thác hằng năm không khác các cách tính cho những tàu khác kiểu.

Số vòng quay trong năm bằng quan hệ $n = T_e / T_1$, (5.28) trong đó T_e - thời gian khai thác, tính trung bình cho mỗi năm, T_1 – thời gian cần cho mỗi chuyến đi, tính theo tình hình thực tế.

$$T_1 = T_{sea} + T_p \quad (5.34)$$

$$T_{sea} - \text{thời gian tàu chạy trên biển} = 2 \left(\frac{R_t}{24 \cdot v} + t_{ch} \right) \cdot [ngay - dem] \quad (5.35)$$

với R_t – khoảng cách vận chuyển tính bằng NM, t_{ch} – thời gian cần để vượt qua kênh đào (nếu có) và các luồng lạch đặc biệt;

T_p - thời gian đậu tại cảng, tính cho một chuyến đi.

Chi phí sử dụng nhiên liệu tính theo tiêu hao thực tế.

Hiệu quả đầu tư.

$$E = \frac{Q - V}{I_{ship} + I_{con}} \quad (5.36)$$

Khác với công thức đã dùng cho tàu khác kiểu, khi thiết kế tàu chở hàng thùng cần thiết phải tính đến đầu tư giành cho thùng (container) đặt trên tàu I_{con} .

Thiết kế tàu đánh cá

Những đại lượng tham gia bảng tính hiệu quả kinh tế tàu đánh cá gồm:

Sản lượng hằng năm Q.

Sản lượng đánh bắt hằng năm được hiểu theo nghĩa đen, đối với tàu đánh bắt cá là lượng cá bắt được trong một năm khai thác. Nếu đem số cá bán đi chủ phương tiện sẽ thu được số tiền tính bằng :

Thu hoạch trong 1 năm = Lượng cá bắt được x Đơn giá cá.

Chi phí sản xuất hằng năm V.

Chi phí ngoài sản xuất được tính riêng, sau đó nhập với V thành tổng chi phí.

Giá thành tàu I.

Hiệu quả kinh tế tàu đánh cá có thể xét dưới dạng:

$$(a) \text{ Hiệu quả lớn nhất } E = \frac{P}{I} = \frac{Q - V}{I}$$

trong đó P – lợi nhuận hằng năm.

(b) Thời gian hoàn vốn ngắn nhất : $T = \frac{I}{P}$

Những cách tính giá I thông dụng không khác cách làm khi tính giá thành sản xuất tàu vận tải nói chung. Với tàu cá có thể sử dụng những cách làm sau.

+ Trường hợp thiếu cơ sở dữ liệu trong việc tính giá, có thể sử dụng công thức kinh nghiệm:

$$I = Kx(LBH)^{2/3}, \text{ tính bằng tiền.} \quad (5.37)$$

Trong đó hệ số K phụ thuộc vào kiểu tàu, phương pháp đánh bắt, trang thiết bị tàu vv..., ghi nhận trên cơ sở thống kê.

+ Theo cách làm kinh điển, coi giá toàn tàu là tập hợp các giá thành phần của thân tàu, buồng máy, trang thiết bị vv...,

$$I = (W_H K_H + W_M K_M + W_F K_F + E_q) (1 + b), \text{ tính bằng tiền.} \quad (5.38)$$

Trong đó W – chỉ trọng lượng các nhóm, K – hệ số giá thành; H - thân tàu; M – máy móc thiết bị, F – trang, thiết bị trên tàu. E_q – thiết bị điện, điện tử, nghi khí hàng hải vv...; Hệ số b chỉ các phí liên quan đến việc hình thành tàu gồm phí thiết kế, phí đăng kiểm, phí làm dự án, các loại thuế. Trong rất nhiều trường hợp hệ số b đạt đến 20 – 30%.

Tính giá tàu luôn là công việc phức tạp, dài hơi. Giá thành của tàu phụ thuộc không chỉ vào kích thước chính mà còn phụ thuộc rất nhiều vào qui trình công nghệ, vào tổ chức đóng tàu. Những dữ liệu liên quan đến các hệ số tham gia phương trình giá tàu có thể tham khảo theo các bảng sau. Các con số trích từ tài liệu thiết kế của Nga và Nhật bản.

Bảng 5.9

Tên gọi	Tàu lưới kéo	Tàu lưới rê	Tàu vây nhỏ	Tàu câu cá ngư
Công	30,0	36,2	28,1	35,0
Nhiên liệu, nhớt	10,1	6,2	6,6	12,0
Vật tư nghề cá	8,6	2,0	0,9	-
Ngư cụ	5,3	23,6	14,8	5,0
Bảo hiểm	1,8	1,8	1,0	0,8
Vận chuyển	23,7	1,7	1,5	-
Sửa chữa	1,6	7,9	16,1	4,0
Khấu hao	10,1	12,8	16,2	23,2
Các phần khác	6,6	6,1	10,2	-
Quản lý xí nghiệp	1,8	1,7	4,6	10

Từ bảng trên có thể thấy, chi phí đặc trưng cho mỗi loại tàu khác nhau khá nhiều. Sự khác biệt ấy thể hiện rõ nét cho từng nhà máy, từng địa phương khác nhau. Khi thiết kế người lập dự toán nhất thiết phải thu thập dữ liệu thống kê sát thực cho đối tượng đang tìm hiểu.

Thiết kế tàu đánh cá được đặt ra trong những điều kiện cụ thể:

Kiểu tàu và nghề khai thác : tàu lưới kéo, tàu đánh bằng phương pháp vây, tàu lưới rê, lưới cản, tàu câu các loại vv...,

Vùng biển khai thác và trang thiết bị chuyên ngành, sản lượng tối thiểu hằng năm,

Máy chính và máy phụ, thiết bị nghề cá,

Sức chở của tàu, dung tích khoang cá cần thiết,

Thời gian chuyển biển: thời gian đi ra ngư trường, thời gian thao tác trên biển, thời gian trở về cảng, thời gian bốc dỡ, thời gian nghỉ giữa hai chuyến biển vv...,

Vận tốc tàu khi kéo lưới,

Sức kéo cần thiết trên tang,

Số người trên tàu, dự trữ lương thực, thực phẩm cho đoàn thủy thủ,

Biến số dùng trong thiết kế tàu cá có thể như sau (hay còn gọi các thông số tham gia trong hàm mục tiêu):

$$x_1 \equiv L$$

$$x_2 \equiv B$$

$$x_3 \equiv T$$

$$x_4 \equiv F = H - T, \text{ chiều cao mạn khô}$$

$$x_5 \equiv W_{\text{ballast}} - \text{trọng lượng ballast cố định.}$$

$$x_6 \equiv CB \ (\delta);$$

$$x_7 \equiv CM \ (\beta);$$

$$x_8 \equiv Xc/L, \text{ tính từ giữa tàu,}$$

$$x_9 \equiv \alpha_{\text{góc bo mũi}}$$

Hạn chế kích thước và các tỷ lệ của tàu cá được trình bày dưới dạng như đã nêu cho tàu vận tải.

Các phép tính phải thực hiện trong quá trình tính tối ưu tàu cá bao gồm:

a. Xác định lượng chiếm nước tàu không từ cơ sở thống kê hoặc từ các phép lặp trước đó. Trong thành phần D_0 , trọng lượng vỏ tàu phụ thuộc vào kích thước chính và tỷ lệ giữa chúng, trọng lượng buồng máy phụ thuộc kiểu máy, công suất, tần suất quay, và các yêu cầu khai thác, trọng lượng trang thiết bị phụ thuộc vào số lượng, tính năng trang thiết bị, trọng lượng trang trí nội thất phụ thuộc vào đoàn thủy thủ, vào yêu cầu chủ tàu.

b. Sức chở của tàu tính theo công thức:

$$P = \gamma x CB x L x B x T - D_0 - W_{\text{dutr}} - W_{\text{crew}} \quad (5.39)$$

Trong đó : W_{dutr} – trọng lượng dự trữ nhiên liệu, nước ; W_{crew} – thủy thủ và dự trữ lương thực, thực phẩm.

c. Chiều cao mạn khô tối thiểu tính theo công ước quốc tế về đường nước chở hàng, thỏa mãn các điều kiện ghi tại chương đầu tài liệu.

d. Để xác định công suất máy và tiếp đó thiết kế chân vịt, xác định tốc độ chạy tự do khi ra ngư trường và về cảng, tốc độ kéo khi dặt lưới, tiến hành tính sức cản vỏ tàu đánh cá. Phương pháp tin cậy được áp dụng cho tàu các kiểu mang tên Doust được áp dụng cho trường hợp này. Phương pháp được trình bày kỹ tại chương ba tài liệu. Chân vịt Wageningen áp dụng vào tàu đánh cá mang lại hiệu quả tin cậy, được áp dụng trong thiết kế tối ưu.

e. Giá tàu $I = (W_H K_H + W_M K_M + W_F K_F + E_q) (1 + b)$ (5.40) phụ thuộc vào kích thước của tàu, vào nhà máy thi công, vào trang thiết bị và quản lý. Tiến hành tính chi phí sản xuất, lợi nhuận thu được hàng năm từ khai thác tàu và tp đó hiệu quả kinh tế tàu đang thiết kế. Áp dụng phương pháp tối ưu hóa để xác định các thông số đang tìm.

Ví dụ: Chọn kích thước tối ưu cho tàu đánh cá xa bờ, nghề lưới kéo. Từ kết quả phân tích sơ bộ đã quyết định như sau: trọng tải tàu 800t, dung tích hầm hàng $1099m^3$, dung tích các két nhiên liệu $331 m^3$, dung tích két nước ngọt $74m^3$; Chọn máy chính với công suất 500PS. Đây sẽ là tàu hai boong, kết cấu bền như Qui phạm yêu cầu. Tính ổn định tàu đảm bảo như đã đề trong qui phạm phân cấp và đóng tàu biển vỏ thép, áp dụng cho tàu hoạt động vùng hạn chế I: tầm hoạt động của tàu cách cảng mẹ không quá 200 hải lý.

Điểm khởi đầu của bài toán được chọn từ thực tế, trên cơ sở thống kê. Chiều dài tàu 69m; tỷ lệ $L/B = 5,3$; Theo phương pháp biến phân, với biến phân của L chừng 5%, còn của L/B khoảng 0,1, có thể từng bước tính hiệu quả kinh tế cho tàu với $L \pm 5\%L$, $L/B \pm 0,1$, . . . Trường hợp đơn giản nhất, chỉ cần chọn một đến hai biến số cho hàm mục tiêu. Giả sử chọn $x_1 \equiv L$; $x_2 \equiv L/B$ với bước $\delta L = 1$; $\delta(L/B) = 0,1$. Nếu cố định bài toán tại $B/T = 2,5$, áp dụng các công thức xác định các thông số chính của tàu tại chương 1 và các công thức xác định hiệu quả kinh tế tại phần đầu chương này, có thể tìm được giá trị tối ưu cho tàu đơn giản này.

Các phép tối ưu theo nghĩa biến phân, tiến hành theo hai bước:

- (1) Tìm L “tối ưu”, bằng cách thay đổi $L \pm \delta L$, còn $L/B = \text{const}$;
- (2) Với kết quả ban đầu này, giữ $L = \text{const}$ và thay đổi $L/B \pm \delta(L/B)$.

Giá trị “ L tối ưu” và “ L/B tối ưu” làm cho hàm mục tiêu đạt cực trị sẽ cho phép tiếp tục xác định các thông số còn lại. Cách làm này đưa lại kết quả sau.

Chiều dài $L = 66m$; $L/B = 5,2$; Và từ đó: chiều rộng $B = 11,2m$; chiều cao $H = 7,75m$. Các thông số khác sẽ là: $CB = 0,64$; $CP = 0,68$.

Tốc độ tàu xác định được 14,28 HL/h;

Cũng bài toán tương tự, nếu mở rộng phạm vi yêu cầu, các tham số có mặt trong hàm mục tiêu có thể mở rộng như sau.

$$x_1 \equiv D - \text{lượng chiếm nước } D = \sum W_i;$$

$$x_2 \equiv L/B$$

$$x_3 \equiv BHP$$

$$x_4 \equiv P_{cá} - \text{trọng tải sản phẩm}$$

$$x_6 \equiv CB (\delta);$$

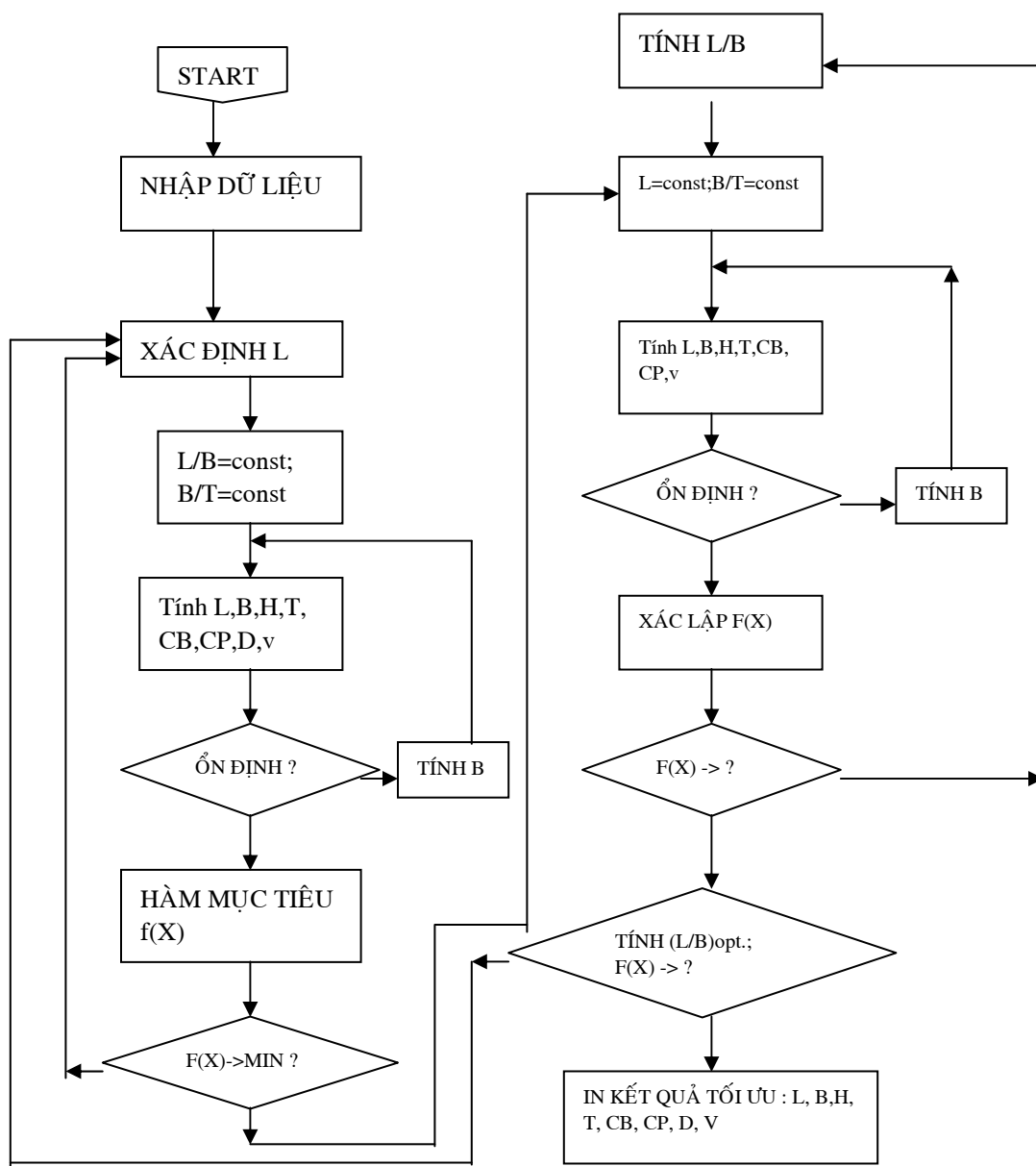
Công thức chứa các kích thước chính theo thông lệ vẫn là D và $P_{cá}$.

$$P_{cá} = k_1 k_2 LBH$$

$$D = kLBH + f_1(P_{cá}) + f_2(BHP) + \dots$$

$$D = \gamma_x CB x L x B x T$$

Các phép tính tiếp theo được thực hiện theo các cách đã trình bày trên.



Hình 5.3

Ví dụ tính giá thành tàu

Giá thành tàu phụ thuộc vào vật tư, nhân công, công nghệ chế tạo, nơi chế tạo vv. . . , được tính cho mỗi tàu riêng biệt. Cách tính giá thành tàu do ngành tài chính hướng dẫn và các bảng giá được các cơ quan có thẩm quyền ngành tài chính phê duyệt. Các tài liệu tiếp theo giới thiệu các bảng tính đang được dùng tại các cơ sở đóng tàu của Việt nam. Các bảng tính sau đây chưa phải là mẫu chuẩn, tuy nhiên cần được coi là tài liệu tham khảo hữu ích.

Tổng hợp giá thành tàu kiểm ngư vỏ composite

Bảng 5.10			
TÊN GỌI	SỐ LƯỢNG	THÀNH TIỀN (triệu đồng)	GHI CHÚ
Vật tư chính			
Nhựa Polyester không no	8,85t	124.0	
Sợi thủy tinh các loại	6,5 t	143,0	
Gelcoat	0,35t	14	
chống dính		2,8	
phụ gia		6,1	
polyurethane		12	
gỗ dán	320 m ²	14,2	
gỗ xẻ nhóm 4	6m ³	30	
thép các loại		16,5	
thép không rỉ		16,7	
	Cộng	379,3	
Vật tư khác			
các kết		30	
máy chính + hộp số (Kiểu máy đã kể)	bộ	620	
máy phụ (Hãng Kubota hoặc Honda)		30	
hệ thống ống toàn tàu		41,6	
hệ thống điện		41	
các bơm		17	
Trang bị hàng hải & điện tử			
la bàn lái	Nhật	10	
la bàn chuẩn	TQ	20	
cụm GPS,plotter	Nhật	25	
SSB radiophone 150W	Nhật	22	
Radar	Nhật	42	
VHF	Nhật	6,4	
Cáp các loại		3	
Trang bị cứu sinh			
xuồng		26	
máy OBO Honda, 50 CV		34,5	
phao bè tự thổi, 10 người	2 chiếc	40	
phao tròn	6 cái	0,36	
áo phao	12 cái	0,48	
Hệ lái		14	
Hệ neo		26	
Cần cầu xuồng		10	
Máy chụp hình		4	
Camera		11,5	
Oáng nhòm chuyên dùng		14,5	
Các trang thiết bị khác		20	
	Tổng cộng	1488,64	

Bảng 5.11

KẾT TOÁN

TT	TÊN GỌI	CÔNG THỨC	THÀNH TIỀN (triệu đồng)
1	Vật liệu		1488,64
1a	Khấu hao khuôn		60
2	Công 11.500đ/c x 10.000		115
3	BHXXH&BHYY	19%(2)	21,85
4	Năng lượng	40%(2)	46
5	Khấu hao MMTB, khuôn tàu	40%(2)	46
6	Chi phí quản lý phân xưởng	35%(2)	40,25
7	Chi phí quản lý xí nghiệp	35%(2)	40,25
	<i>A. Giá thành công xưởng</i>		1857,99
8	Chi phí ngoài sản xuất(kể cả kiểm tra của DK và bảo vệ môi trường)	3%A	55,74
	<i>B. Giá thành toàn bộ</i>		1913,73
9	Lãi định mức	2%B	38,27
	<i>C. Giá bán buôn xí nghiệp</i>		1952
10	Thuế	1%D	21,10
11	Phí thiết kế	4%D	84,41
12	Chi phí chuẩn bị dự án	2,5%D	52,76
	<i>D . Giá tàu (chiếc đầu tiên)</i>		2110,27

Bảng tính giá thành tàu cao tốc, vỏ hợp kim nhôm

Bảng 5.12

TÊN GỌI	SỐ LƯỢNG	THÀNH TIỀN (triệu đồng)	GHI CHÚ
Vật tư chính			
Vật liệu chính làm tàu		1.980,0	
Nhiên liệu phục vụ đóng tàu		29,067	
Trang thiết bị động lực		2.220,5	
Vật tư phụ tùng đường ống		43,251	
Trang thiết bị đặt gia công		219,002	
Thiết bị điện		330,0	
Thiết bị hàng hải		158,0	
Dụng cụ theo tàu		100,00	
Vật tư phục vụ sản xuất		31,551	
Bốc dỡ, vận chuyển		40,619	
	<i>Cộng</i>	6.000,0	

Bảng 5.13 **KẾT TOÁN**

TT	TÊN GỌI	CÔNG THỨC	THÀNH TIỀN (triệu đồng)
1	Vật liệu, nguyên liệu, trang thiết bị		5.000,0
1a			

2	Công		280,0
3	BHXXH&BHYY		53,2
4	Năng lượng		55,0
5	Khấu hao MMTB		140
6	Chi phí quản lý phân xưởng		84,0
7	Chi phí quản lý xí nghiệp		84,0
	<i>A. Giá thành công xưởng</i>		5.696,20
8	Chi phí ngoài sản xuất(kể cả kiểm tra của DK và bảo vệ môi trường)		119,0
	<i>B. Giá thành toàn bộ</i>		5.815,2
9	Lãi định mức	2%B	116,304
	<i>C. Giá bán buôn xí nghiệp</i>		5.931,504
10	Thuế doanh thu (trước khi có VAT)	1%C	59,315
11	Phí thiết kế	3,5%C	207,602
	<i>D . Giá tàu (chiếc đầu tiên)</i>		6.198,421

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Brant, R.P., “*Algorithms for minimization without derivatives*”, Englewood Cliffs, N.Y., 1973.
2. Demidovitch B.P, Maron I. A., “*Computational Mathematics*”, Moscow 1976.
3. Ащик В.В., “*Проектирование судов*”, Ленинград, 1975.
4. Kuniyatsu T. , “*Application of computer to optimisation of principal dimensions of ships by parametric study*”, Japan Shipbuiding and Marine Engineering, 1968.
5. Mandel P. Reuven L., “*Optimization methods applied to ship design*”, Trans. SNAME, N.Y. , 1966 -1967.
6. Orchard-Hays W. , “*Advanced linear-programming computing techniques*”, McGraw-Hill N.Y., 1968.
7. Pchenitchny B., Daniline Y., “*Méthodes numériques dans les problèmes d’extrémum*”, Moscow 1977.
8. Wilkinson J.H., Reinsch C., “*Handbook for automatic computation*”, Heidelberg Springer, 1971.