

ВІСНИК

ОДЕСЬКОГО
НАЦІОНАЛЬНОГО
МОРСЬКОГО
УНІВЕРСИТЕТУ

6

Міністерство освіти і науки України



ВІСНИК

**ОДЕСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО
МОРСЬКОГО УНІВЕРСИТЕТУ**

*Вихід у світ цього збірника профінансовано
Морським Інженерним Бюро (МІБ).*

*Генеральний директор МІБ
канд. техн. наук, член-кореспондент
Транспортної Академії України*

Г. В. Єгоров

6`2001

ББК 39.42-011я43

В635

УДК 629.12.002(082)

Головний редактор:

д-р техн. наук, проф., *Ю.Л. Воробйов*

Редакційна колегія:

д-р техн. наук, проф. *Шумлянський І.Ф.* (заст. відп. редактора), д-р техн. наук, проф. *Аксютін Л.Р.*, д-р техн. наук, проф. *Ананьїна В.З.*, д-р техн. наук, проф. *Вассерман О.А.*, д-р екон. наук, проф. *Восвудський Є.М.*, д-р техн. наук, проф. *Гришин В.О.*, д-р техн. наук, проф. *Дубровський М.П.*, д-р техн. наук, проф. *Євдокімов В.Д.*, д-р техн. наук, проф. *Жуков Ю.Д.*, д-р техн. наук, проф. *Загоруйко В.О.*, д-р техн. наук, проф. *Івановський В.Г.*, д-р техн. наук, проф. *Каганов Я.І.*, д-р техн. наук, проф. *Клованич С.Ф.*, д-р техн. наук, проф. *Козляков В.В.*, д-р техн. наук, проф. *Козирев В.К.*, д-р екон. наук, доц. *Ланкіна І.О.*, д-р техн. наук, проф. *Макаренко Д.В.*, д-р екон. наук, проф. *Махуренко Г.С.*, д-р екон. наук, доц. *Морозова І.В.*, д-р техн. наук, проф. *Олійник М.В.*, д-р техн. наук, проф. *Панарін П.Я.*, д-р техн. наук, с.н.с. *Пойзнер М.Б.*, д-р екон. наук, проф. *Постан М.Я.*, д-р техн. наук, проф. *Радімов С.М.*, д-р техн. наук, проф. *Сизов В.Г.*, д-р екон. наук, проф. *Чекаловець В.І.*, д-р техн. наук, проф. *Яковлев П.І.*, д-р екон. наук, проф. *Якушенко В.Г.*, *Силаєва Г.І.* (відп. секретар).

Сборник содержит работы по актуальным проблемам теории корабля, проектирования современных и перспективных типов судов и их силовых установок, морским путям и портам, вопросам управления работой морского транспорта в современных условиях.

Збірник містить роботи по актуальним проблемам теорії корабля, проектування сучасних та перспективних типів суден та їх силового устаткування, морським шляхам і портам, питанням управління роботою морського транспорту у сучасних умовах.

The issue holds the collection of works on up-dated problems of: theory of ships, designing of modern and forthcoming types of vessels, ship machinery, sea routs and seaports, actual problems of merchant marine maintenance under existing economical condition.

*Друкується за ухвалою Вченої ради
Одеського державного морського університету
від 30 травня 2001 р. (протокол № 8)*

© Одеський державний

ISBN 966 7716-02-03

морський університет, 2001

ПРИБЛИЖЕННОЕ РЕШЕНИЕ ОДНОЙ КРАЕВОЙ ЗАДАЧИ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ КАЧКИ

Ю.Л.Воробьев, В.И.Тонюк

При исследовании многих задач теории качки и управляемости многокорпусных судов, взаимодействия обычных судов при обгонах и встречах, возникает, иногда в качестве вспомогательной, а зачастую в качестве основной, плоская краевая задача Неймана следующего вида относительно потенциала скорости $\Phi(u, v)$ (рис. 1):

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial u^2} + \frac{\partial^2}{\partial v^2} \right) \Phi(u, v) = 0, \quad (u, v) \in E; \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial v} \Phi(u, v=0) = 0, \quad 0 < |u| < a, b < |u| < \infty; \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial N} \Phi(u_0, v_0) = f(u_0, v_0), \quad u_0, v_0 \in \aleph_1 + \aleph_2. \quad (3)$$

Здесь E – верхняя полуплоскость с исключенной частью, ограниченной шпангоутными контурами \aleph_1 и \aleph_2 , N – внешняя нормаль к этим контурам. Эта нормаль направлена внутрь жидкости.

Иногда приходится рассматривать обобщение задачи (1) – (3) в виде такой краевой задачи (рис.2):

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial u^2} + \frac{\partial^2}{\partial v^2} \right) \Phi(u, v) = 0, \quad (u, v) \in E; \quad (4)$$

$$\frac{\partial}{\partial v} \Phi(u, v=0) = 0, \quad p < |u| < a, b < |u| < \infty; \quad (5)$$

$$\frac{\partial}{\partial N} \Phi(u_0, v_0) = f(u_0, v_0), \quad u_0, v_0 \in N_1 + N_2 + N_3. \quad (6)$$

Здесь E – верхняя полуплоскость с исключенной частью, ограниченной шпангоутными контурами N_1 , N_2 и N_3 , остальные обозначения те же, что и в дифференциальной системе (1) – (3). Граничное условие на свободной поверхности $\frac{\partial \Phi(u, v=0)}{\partial v} = 0$ – это условие типа «твердой стенки», соответствующее малой (стремящейся к нулю) частоте колебаний.

В случае вертикальных колебаний систем шпангоутов, изображенных на рис.1 и рис.2, можно специальным образом трансформировать область определения потенциала E так, чтобы сохранив основные свойства возмущенного движения жидкости, серьезным образом упростить процедуру решения краевой задачи. Известно, что в случае вертикальных колебаний контура его гидродинамические характеристики (присоединенная масса, волновое демпфирование, вертикальная возмущающая сила) в основном определяются шириной шпангоута. Меньшую роль играет площадь контура и незначительно влияет его осадка. Учитывая изложенные соображения, все три шпангоутных контура преобразованы в «гидродинамически эквивалентные» прямоугольные контура. Каждый прямоугольник имеет ширину и площадь соответствующего шпангоута. Заметим, что в случае исследования поперечных колебаний «гидродинамически эквивалентные» контура имеют осадку и площадь соответствующих шпангоутов.

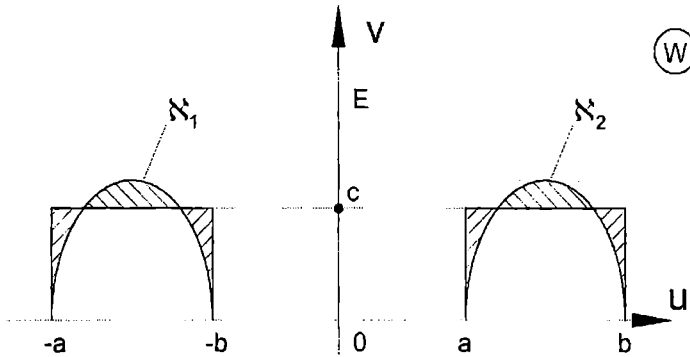


Рис. 1. Область определения потенциала скоростей в случае двухкорпусного судна

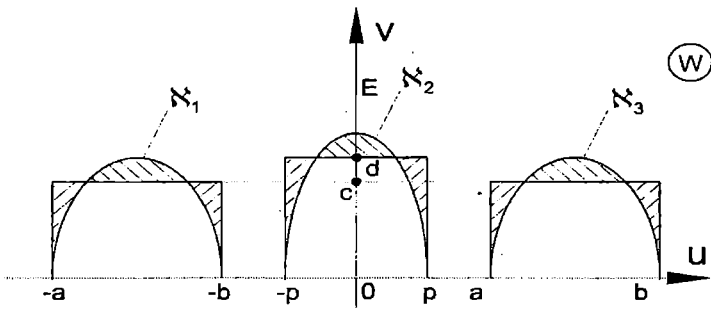


Рис. 2. Область определения потенциала скоростей в случае трехкорпусного судна

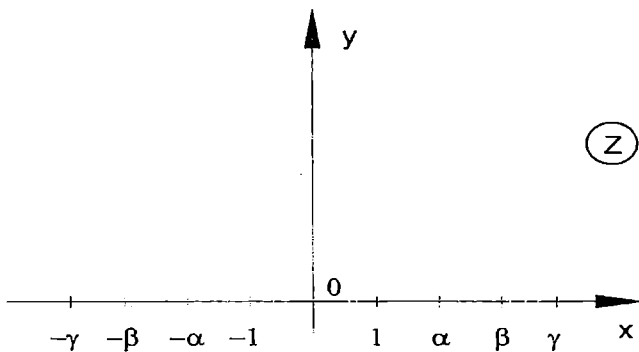


Рис. 3. Верхняя полуплоскость $\text{Im}Z > 0$

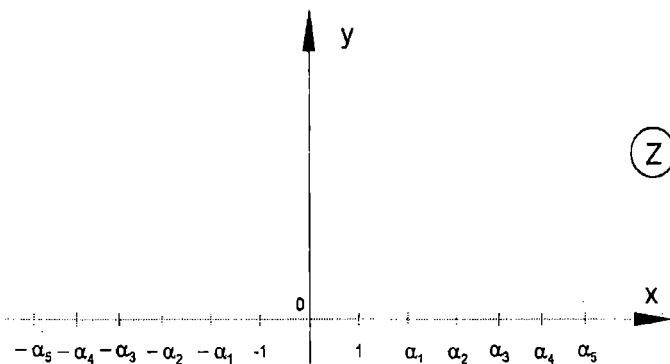


Рис. 4. Верхняя полуплоскость $\text{Im}Z > 0$

Если вертикальные колебания совершаются с единичной амплитудой скорости, то граничное условие (3) преобразуется к условиям (7) – (9)

$$\frac{\partial\Phi(u, v=c)}{\partial v} = 1, \quad a < u < b, -b < u < -a; \quad (7)$$

$$\frac{\partial\Phi(u = \pm b, v)}{\partial u} = 0, \quad 0 < v < c; \quad (8)$$

$$\frac{\partial\Phi(u = \pm a, v)}{\partial u} = 0, \quad 0 < v < c, \quad (9)$$

а граничное условие (6) – к условиям (10) – (14)

$$\frac{\partial\Phi(u, v=c)}{\partial v} = 1, \quad a < u < b, -b < u < -a; \quad (10)$$

$$\frac{\partial\Phi(u, v=d)}{\partial v} = 1, \quad |u| < p; \quad (11)$$

$$\frac{\partial\Phi(u = \pm b, v)}{\partial u} = 0, \quad 0 < v < c; \quad (12)$$

$$\frac{\partial\Phi(u = \pm a, v)}{\partial u} = 0, \quad 0 < v < c, \quad (13)$$

$$\frac{\partial\Phi(u = \pm p, v)}{\partial u} = 0, \quad 0 < v < d. \quad (14)$$

Итак, в случае вертикальных колебаний шпангоутных контуров катмарана с единичной амплитудой скорости для потенциала возмущенных скоростей жидкости имеет место краевая задача (1), (2), (7), (8), (9), а в случае вертикальных колебаний шпангоутных контуров тримарана – краевая задача (4), (5), (10), (11), (12), (13), (14).

Перейдем к решению этих краевых задач. Выполним конформное отображение верхней полуплоскости $ImZ > 0$ на бесконечный многоугольник из верхней полуплоскости W . При этом рассмотрим отдельно случаи двух и трех-

корпусного судов. В случае двухкорпусного судна (рис.1 и рис.3) потребуем такое соответствие точек в плоскостях W и Z :

Таблица 1. Соответствие точек в плоскостях Z и W

Плоскость Z	$x=0$	$x=\pm 1$	$x=\pm \alpha$	$x=\pm \beta$	$x=\pm \gamma$
	$y=0$	$y=0$	$y=0$	$y=0$	$y=0$
Плоскость W	$u=0$	$u=\pm a$	$u=\pm a$	$u=\pm b$	$u=\pm b$
	$v=0$	$v=0$	$v=c$	$v=c$	$v=0$

Пользуясь принципом симметрии, запишем интеграл Кристоффеля-Шварца [1]

$$W = A \int_0^z \sqrt{\frac{(\zeta^2 - \alpha^2) \cdot (\zeta^2 - \beta^2)}{(\zeta^2 - 1) \cdot (\zeta^2 - \gamma^2)}} d\zeta, \quad (15)$$

причем положительные постоянные A, α, β, γ ($1 < \alpha < \beta < \gamma$) можно найти из следующей системы уравнений

$$A \int_0^1 \sqrt{\frac{(x^2 - \alpha^2) \cdot (x^2 - \beta^2)}{(x^2 - 1) \cdot (x^2 - \gamma^2)}} dx = a; \quad (16)$$

$$A \int_1^\alpha \sqrt{\frac{(x^2 - \alpha^2) \cdot (x^2 - \beta^2)}{(1 - x^2) \cdot (x^2 - \gamma^2)}} dx = c; \quad (17)$$

$$A \int_\alpha^\beta \sqrt{\frac{(x^2 - \alpha^2) \cdot (x^2 - \beta^2)}{(x^2 - 1) \cdot (x^2 - \gamma^2)}} dx = b - a; \quad (18)$$

$$A \int_\beta^\gamma \sqrt{\frac{(x^2 - \alpha^2) \cdot (x^2 - \beta^2)}{(x^2 - 1) \cdot (\gamma^2 - x^2)}} dx = c; \quad (19)$$

В случае трехкорпусного судна (рис.2 и рис.4) потребуем такое соответствие точек в плоскостях W и Z :

Таблица 2. Соответствие точек в плоскостях Z и W

Плоскость Z	$x=0$	$x=\pm 1$	$x=\pm \alpha_1$	$x=\pm \alpha_2$	$x=\pm \alpha_3$	$x=\pm \alpha_4$	$x=\pm \alpha_5$
	$y=0$	$y=0$	$y=0$	$y=0$	$y=0$	$y=0$	$y=0$
Плоскость W	$u=0$	$u=\pm p$	$u=\pm p$	$u=\pm a$	$u=\pm a$	$u=\pm b$	$u=\pm b$
	$v=d$	$v=d$	$v=0$	$v=0$	$v=c$	$v=c$	$v=0$

Пользуясь принципом симметрии, запишем интеграл Кристоффеля-Шварца [1]

$$W = A \int_0^z \sqrt{\frac{(\zeta^2 - 1) \cdot (\zeta^2 - \alpha_3^2) \cdot (\zeta^2 - \alpha_4^2)}{(\zeta^2 - \alpha_1^2) \cdot (\zeta^2 - \alpha_2^2) \cdot (\zeta^2 - \alpha_5^2)}} d\zeta + id. \quad (20)$$

Положительные постоянные

$$A, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5 \quad (1 < \alpha_1 < \alpha_2 < \alpha_3 < \alpha_4 < \alpha_5)$$

можно найти из следующей системы уравнений

$$A \int_0^1 \sqrt{\frac{(x^2 - 1) \cdot (x^2 - \alpha_3^2) \cdot (x^2 - \alpha_4^2)}{(x^2 - \alpha_1^2) \cdot (x^2 - \alpha_2^2) \cdot (x^2 - \alpha_5^2)}} dx = p; \quad (21)$$

$$A \int_1^{\alpha_1} \sqrt{\frac{(1 - x^2) \cdot (x^2 - \alpha_3^2) \cdot (x^2 - \alpha_4^2)}{(x^2 - \alpha_1^2) \cdot (x^2 - \alpha_2^2) \cdot (x^2 - \alpha_5^2)}} dx = d; \quad (22)$$

$$A \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \sqrt{\frac{(x^2 - 1) \cdot (x^2 - \alpha_3^2) \cdot (x^2 - \alpha_4^2)}{(x^2 - \alpha_1^2) \cdot (x^2 - \alpha_2^2) \cdot (x^2 - \alpha_5^2)}} dx = a - p; \quad (23)$$

$$A \int_{\alpha_2}^{\alpha_3} \sqrt{\frac{(x^2 - 1) \cdot (\alpha_3^2 - x^2) \cdot (x^2 - \alpha_4^2)}{(x^2 - \alpha_1^2) \cdot (x^2 - \alpha_2^2) \cdot (x^2 - \alpha_5^2)}} dx = c; \quad (24)$$

$$A \int_{\alpha_3}^{\alpha_4} \sqrt{\frac{(x^2 - 1) \cdot (x^2 - \alpha_3^2) \cdot (x^2 - \alpha_4^2)}{(x^2 - \alpha_1^2) \cdot (x^2 - \alpha_2^2) \cdot (x^2 - \alpha_5^2)}} dx = b - a; \quad (25)$$

$$A \int_{\alpha_4}^{\alpha_5} \sqrt{\frac{(x^2 - 1) \cdot (x^2 - \alpha_3^2) \cdot (x^2 - \alpha_4^2)}{(x^2 - \alpha_1^2) \cdot (x^2 - \alpha_2^2) \cdot (\alpha_5^2 - x^2)}} dx = c. \quad (26)$$

В системе интегральных уравнений (16) – (19) относительно неизвестных A, α, β, γ интегралы, входящие в уравнения (16), (17) и (19), являются несобственными. Аналогично, в системе интегральных уравнений (21) – (26) относительно неизвестных $A, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5$ несобственными являются интегралы, входящие в уравнения (22), (23), (24) и (26). Прежде, чем предложить метод приближенного решения обеих систем интегральных уравнений, целесообразно преобразовать несобственные интегралы в определенные. Ниже такие преобразования будут приведены для интегралов (16), (17) и (19), а метод приближенного решения системы интегральных уравнений будет изложен применительно к системе (16) – (19). Преобразования интегралов (22), (23), (24) и (26) и метод приближенного решения системы (21) – (26) аналогичны упомянутым выше с точностью до обозначений.

Рассмотрим несобственный интеграл

$$J_1 = \int_0^1 \sqrt{\frac{(\alpha^2 - x^2) \cdot (\beta^2 - x^2)}{(1 - x^2) \cdot (\gamma^2 - x^2)}} dx. \quad (27)$$

Выполним замену переменных $x = \sin t$, $dx = \cos t dt$. Тогда

$$J_1 = \int_0^{\pi/2} \sqrt{\frac{(\alpha^2 - \sin^2 t) \cdot (\beta^2 - \sin^2 t)}{\gamma^2 - \sin^2 t}} dt. \quad (28)$$

Это обыкновенный определенный интеграл.

Рассмотрим несобственный интеграл

$$J_2 = \int_1^{\alpha} \sqrt{\frac{(\alpha^2 - x^2) \cdot (\beta^2 - x^2)}{(x^2 - 1) \cdot (\gamma^2 - x^2)}} dx. \quad (29)$$

Выполним замену переменных

$$x = \frac{1}{\sin t}, x^2 - 1 = \frac{\cos^2 t}{\sin^2 t}, dx = -\frac{\cos t}{\sin^2 t} dt, \quad (30)$$

причем имеет место соответствие пределов: при $x=1$ $t=\pi/2$, при

$$x=\alpha \quad t=\arcsin\left(\frac{1}{\alpha}\right).$$

Тогда

$$J_2 = \int_{\arcsin\frac{1}{\alpha}}^{\pi/2} \sqrt{\frac{(\alpha^2 \sin^2 t - 1) \cdot (\beta^2 \sin^2 t - 1)}{\gamma^2 \sin^2 t - 1}} \cdot \frac{dt}{\sin^2 t}. \quad (31)$$

Это обыкновенный определенный интеграл.

Рассмотрим

$$J_4 = \int_{\beta}^{\gamma} \sqrt{\frac{(x^2 - \alpha^2) \cdot (x^2 - \beta^2)}{(x^2 - 1) \cdot (\gamma^2 - x^2)}} dx. \quad (32)$$

Выполним замену переменных

$$x = \gamma \sin t, \quad dx = \gamma \cos t dt, \quad (33)$$

причем имеет место соответствие пределов

$$\text{при } x=\beta \quad t=\arcsin\frac{\beta}{\gamma}, \quad \text{при } x=\gamma \quad t=\frac{\pi}{2}. \quad (34)$$

Тогда

$$J_4 = \int_{\arcsin\frac{\beta}{\gamma}}^{\pi/2} \sqrt{\frac{(\gamma^2 \sin^2 t - \alpha^2) \cdot (\gamma^2 \sin^2 t - \beta^2)}{\gamma^2 \sin^2 t - 1}} dt. \quad (35)$$

Это обыкновенный определенный интеграл.

Перепишем исходную систему с учетом введенных обозначений, положив по аналогии

$$J_3 = \int_{\beta}^{\gamma} \sqrt{\frac{(x^2 - \alpha^2) \cdot (x^2 - \beta^2)}{(x^2 - 1) \cdot (\gamma^2 - x^2)}} dx. \quad (36)$$

Введем в рассмотрение следующие четыре функции:

$$\begin{aligned}
 I_1(A, \alpha, \beta, \gamma) &= AJ_1(\alpha, \beta, \gamma) - a; & I_2(A, \alpha, \beta, \gamma) &= AJ_2(\alpha, \beta, \gamma) - c; \\
 I_3(A, \alpha, \beta, \gamma) &= AJ_3(\alpha, \beta, \gamma) - b + a; & I_4(A, \alpha, \beta, \gamma) &= AJ_4(\alpha, \beta, \gamma) - c.
 \end{aligned}
 \tag{37}$$

Если $\kappa = \begin{pmatrix} A \\ \alpha \\ \beta \\ \gamma \end{pmatrix}$, то с учетом (37) систему интегральных уравнений (16)-

– (19) можно переписать в виде

$$F(\kappa) = 0, \quad F(\kappa) = \begin{pmatrix} I_1(A, \alpha, \beta, \gamma) \\ I_2(A, \alpha, \beta, \gamma) \\ I_3(A, \alpha, \beta, \gamma) \\ I_4(A, \alpha, \beta, \gamma) \end{pmatrix}.
 \tag{38}$$

Применяя для решения уравнения (38) метод Ньютона [2], имеем

$$\kappa_{n+1} = \kappa_n - [F'(\kappa_n)]^{-1} F'(\kappa_n), \quad n \geq 0,
 \tag{39}$$

где

$$F'(\kappa) = \begin{pmatrix} I'_{1A} & I'_{1\alpha} & I'_{1\beta} & I'_{1\gamma} \\ I'_{2A} & I'_{2\alpha} & I'_{2\beta} & I'_{2\gamma} \\ I'_{3A} & I'_{3\alpha} & I'_{3\beta} & I'_{3\gamma} \\ I'_{4A} & I'_{4\alpha} & I'_{4\beta} & I'_{4\gamma} \end{pmatrix},
 \tag{40}$$

а $[F'(\kappa_n)]^{-1}$ – обратная матрица. В качестве начального приближения

можно принять

$$\kappa_0 = \begin{pmatrix} 1 \\ \frac{a+c}{a} \\ \frac{a}{b+c} \\ \frac{a}{b+2c} \\ a \end{pmatrix}. \quad (41)$$

Перейдем к вычислению производных, которые образуют матрицу (40).

Путем несложных преобразований можно получить следующие формулы.

Если

$$J(\alpha) = \int_a^\alpha f(x, \alpha) dx$$

$$J(\alpha) = \int_\alpha^a f(x, \alpha) dx$$

$$J(\alpha) = \int_a^{g(\alpha)} f(x, \alpha) dx$$

$$J(\alpha) = \int_{g(\alpha)}^a f(x, \alpha) dx$$

то

$$J'(\alpha) = \int_a^\alpha f'_\alpha(x, \alpha) dx + f(\alpha, \alpha)$$

$$J'(\alpha) = \int_\alpha^a f'_\alpha(x, \alpha) dx - f(\alpha, \alpha)$$

$$J'(\alpha) = \int_a^{g(\alpha)} f'_\alpha(x, \alpha) dx + f[g(\alpha), \alpha]g'(\alpha) \quad (42)$$

$$J'(\alpha) = \int_{g(\alpha)}^a f'_\alpha(x, \alpha) dx - f[g(\alpha), \alpha]g'(\alpha)$$

Применяя формулы (42), вычислим производные функций I_1, I_2, I_3, I_4 из (37). Имеем:

Для $I_1(A, \alpha, \beta, \gamma)$

$$\begin{aligned}
 I'_{1\alpha}(A, \alpha, \beta, \gamma) &= \alpha A \int_0^{\pi/2} \sqrt{\frac{\beta^2 - \sin^2 t}{(\gamma^2 - \sin^2 t)(\alpha^2 - \sin^2 t)}} dt; \\
 I'_{1\beta}(A, \alpha, \beta, \gamma) &= \beta A \int_0^{\pi/2} \sqrt{\frac{\alpha^2 - \sin^2 t}{(\gamma^2 - \sin^2 t)(\beta^2 - \sin^2 t)}} dt; \\
 I'_{1\gamma}(A, \alpha, \beta, \gamma) &= -\gamma A \int_0^{\pi/2} \sqrt{\frac{(\alpha^2 - \sin^2 t)(\beta^2 - \sin^2 t)}{\gamma^2 - \sin^2 t}} \frac{dt}{\gamma^2 - \sin^2 t} \\
 I'_{1A}(A, \alpha, \beta, \gamma) &= \int_0^{\pi/2} \sqrt{\frac{(\alpha^2 - \sin^2 t)(\beta^2 - \sin^2 t)}{\gamma^2 - \sin^2 t}} dt.
 \end{aligned} \tag{43}$$

Для $I_2(A, \alpha, \beta, \gamma)$

$$\begin{aligned}
 I'_{2\alpha}(A, \alpha, \beta, \gamma) &= \alpha A \int_{\arcsin \frac{1}{\alpha}}^{\pi/2} \sqrt{\frac{\beta^2 \sin^2 t - 1}{(\alpha^2 \sin^2 t - 1)(\gamma^2 \sin^2 t - 1)}} dt; \\
 I'_{2\beta}(A, \alpha, \beta, \gamma) &= \beta A \int_{\arcsin \frac{1}{\alpha}}^{\pi/2} \sqrt{\frac{\alpha^2 \sin^2 t - 1}{(\beta^2 \sin^2 t - 1)(\gamma^2 \sin^2 t - 1)}} dt; \\
 I'_{2\gamma}(A, \alpha, \beta, \gamma) &= -\gamma A \int_{\arcsin \frac{1}{\alpha}}^{\pi/2} \sqrt{\frac{(\alpha^2 \sin^2 t - 1)(\beta^2 \sin^2 t - 1)}{\gamma^2 \sin^2 t - 1}} \frac{dt}{\gamma^2 \sin^2 t - 1}; \\
 I'_{2A}(A, \alpha, \beta, \gamma) &= \int_{\arcsin \frac{1}{\alpha}}^{\pi/2} \sqrt{\frac{(\alpha^2 \sin^2 t - 1)(\beta^2 \sin^2 t - 1)}{\gamma^2 \sin^2 t - 1}} \frac{dt}{\sin^2 t}.
 \end{aligned} \tag{44}$$

Для $I_3(A, \alpha, \beta, \gamma)$

$$\begin{aligned}
 I'_{3\alpha}(A, \alpha, \beta, \gamma) &= \alpha A \int_{\pi/2}^{\arcsin \frac{\alpha}{\beta}} \sqrt{\frac{\alpha^2 - \beta^2 \sin^2 t}{(\alpha^2 - \sin^2 t)(\alpha^2 - \gamma^2 \sin^2 t)}} dt; \\
 I'_{3\beta}(A, \alpha, \beta, \gamma) &= -\beta A \int_{\arcsin \frac{\alpha}{\beta}}^{\pi/2} \sqrt{\frac{\beta^2 \sin^2 t - \alpha^2}{(\beta^2 \sin^2 t - 1)(\gamma^2 - \beta^2 \sin^2 t)}} dt; \\
 I'_{3\gamma}(A, \alpha, \beta, \gamma) &= \gamma A \int_{\alpha}^{\beta} \sqrt{\frac{(x^2 - \alpha^2)(x^2 - \beta^2)}{(x^2 - 1)(x^2 - \gamma^2)}} \frac{dx}{x^2 - \gamma^2}; \\
 I'_{3A}(A, \alpha, \beta, \gamma) &= \int_{\alpha}^{\beta} \sqrt{\frac{(x^2 - \alpha^2)(x^2 - \beta^2)}{(x^2 - 1)(x^2 - \gamma^2)}} dx.
 \end{aligned} \tag{45}$$

Для $I_4(A, \alpha, \beta, \gamma)$

$$\begin{aligned}
 I'_{4\alpha}(A, \alpha, \beta, \gamma) &= -\alpha A \int_{\arcsin \frac{\beta}{\gamma}}^{\pi/2} \sqrt{\frac{\gamma^2 \sin^2 t - \beta^2}{(\gamma^2 \sin^2 t - \alpha^2)(\gamma^2 \sin^2 t - 1)}} dt; \\
 I'_{4\beta}(A, \alpha, \beta, \gamma) &= -\beta A \int_{\arcsin \frac{\beta}{\gamma}}^{\pi/2} \sqrt{\frac{\gamma^2 \sin^2 t - \alpha^2}{(\gamma^2 \sin^2 t - \beta^2)(\gamma^2 \sin^2 t - 1)}} dt; \\
 I'_{4\gamma}(A, \alpha, \beta, \gamma) &= -\gamma A \int_{\arcsin \frac{\beta}{\gamma}}^{\pi/2} \sqrt{\frac{(\gamma^2 \sin^2 t - \alpha^2)(\gamma^2 \sin^2 t - \beta^2)}{\gamma^2 \sin^2 t - 1}} \frac{\sin^2 t dt}{\gamma^2 \sin^2 t - 1}; \\
 I'_{4A}(A, \alpha, \beta, \gamma) &= \int_{\arcsin \frac{\beta}{\gamma}}^{\pi/2} \sqrt{\frac{(\gamma^2 \sin^2 t - \alpha^2)(\gamma^2 \sin^2 t - \beta^2)}{\gamma^2 \sin^2 t - 1}} dt.
 \end{aligned} \tag{46}$$

Специальный вычислительный эксперимент, выполненный для оценки сходимости итерационного процесса (39) для решения системы интегральных уравнений (38) показал, что достаточная точность результатов расчета констант A, α, β, γ для двух прямоугольных контуров, у которых соотношения размерений a/b и a/c соответствуют реально существующим катамаранным корпусам, достигается за три-пять итераций. Аналогичную сходимость метод Ньютона (39) показал при решении соответствующей системы интегральных уравнений для нормальных соотношений размерений корпусов тримарана.

Как только коэффициенты A, α, β, γ для катамарана и для тримарана найдены, остается записать выражение $A, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5$ для потенциала скоростей в области, занятой жидкостью.

Введем в рассмотрение комплексный потенциал – аналитическую функцию $U(w) = \Phi(u, v) + i\Psi(u, v)$ комплексной переменной $w = u + iv$, причем $\Phi(u, v)$ и $\Psi(u, v)$ – гармонические функции, потенциал скоростей и функция тока соответственно. Приведем расчетные формулы для случая катамарана. Если функция $w = g(z)$ конформно отображает полуплоскость $\text{Im } Z > 0$ на область E (рис.1, рис.3), то граничные условия (7) – (9) в E примут в плоскости Z вид

$$\frac{\partial U(x, y=0)}{\partial y} = \begin{cases} |g'(x, 0)| & -\beta < x < -\alpha, \alpha < x < \beta; \\ 0 & -\infty < x < -\beta, -\alpha < x < \alpha, \beta < x < \infty. \end{cases} \quad (47)$$

Решение задачи Неймана для аналитической в верхней полуплоскости функции U с граничными условиями (47) имеет вид

$$U(z) = \frac{A^{-\alpha}}{\pi} \int_{-\beta}^{-\alpha} \sqrt{\frac{(t^2 - \alpha^2)(\beta^2 - t^2)}{(t^2 - 1)(\gamma^2 - t^2)}} \ln|t - z| dt + \frac{A^{\beta}}{\pi} \int_{\alpha}^{\beta} \sqrt{\frac{(t^2 - \alpha^2)(\beta^2 - t^2)}{(t^2 - 1)(\gamma^2 - t^2)}} \ln|t - z| dt. \quad (48)$$

Значение потенциала $U(u, v)$ в области E проще найти, не выполняя преобразования выражения (48) из плоскости $z = x + iy$ в область $w = u + iv$. Удобнее сначала установить соответствие конкретных точек в этих плоско-

стях, используя интеграл Кристоффеля-Шварца (15), а вычисленное значение функции $U = \Phi + i\Psi$ в конкретной точке $z = x + iy$ приписать соответствующей точке $w = u + iv$. Пусть, например, необходимо определить значения потенциала Φ на вертикальных и горизонтальных ветвях шпангоутных контуров в области E (рис.1). Из (48) имеем

$$\Phi(x,0) = \frac{A^{-\alpha}}{\pi} \int_{-\beta}^{-\alpha} \sqrt{\frac{(t^2 - \alpha^2)(\beta^2 - t^2)}{(t^2 - 1)(\gamma^2 - t^2)}} \ln|t - x| dt + \frac{A^{\beta}}{\pi} \int_{\alpha}^{\beta} \sqrt{\frac{(t^2 - \alpha^2)(\beta^2 - t^2)}{(t^2 - 1)(\gamma^2 - t^2)}} \ln|t - x| dt \quad (49)$$

В таблицу 3 сведены формулы, устанавливающие соответствие точек плоскости Z и правого контура в плоскости W .

Формулы соответствия точек в плоскостях Z и W для правого шпангоутного контура.

Таблица 3

Область $\text{Im } Z > 0$	Область E
$1 \leq x \leq \alpha; \quad y = 0$	$u = a; \quad 0 \leq v \leq c$
$x = 1; \quad y = 0$	$u = a; \quad v = 0$
$1 < x < \alpha; \quad y = 0$	$u = a; \quad v = A \int_1^x \sqrt{\frac{(x^2 - \alpha^2)(x^2 - \beta^2)}{(1 - x^2)(x^2 - \gamma^2)}} dx$
$x = \alpha; \quad y = 0$	$u = a; \quad v = c$
$\alpha \leq x \leq \beta; \quad y = 0$	$u = a + \bar{u}; \quad v = c$
$x = \alpha; \quad y = 0$	$u = a; \quad v = c; \quad \bar{u} = 0$
$\alpha < x < \beta; \quad y = 0$	$\bar{u} = A \int_{\alpha}^x \sqrt{\frac{(x^2 - \alpha^2)(x^2 - \beta^2)}{(x^2 - 1)(x^2 - \gamma^2)}} dx; \quad v = c$
$x = \beta; \quad y = 0$	$u = b; \quad v = c$
$\beta \leq x \leq \gamma; \quad y = 0$	$u = b; \quad v = c - \bar{v}$
$x = \beta; \quad y = 0$	$u = b; \quad v = c; \quad \bar{v} = 0$
$\beta < x < \gamma$	$u = b; \quad \bar{v} = A \int_{\beta}^x \sqrt{\frac{(x^2 - \alpha^2)(x^2 - \beta^2)}{(x^2 - 1)(\gamma^2 - x^2)}} dx$
$x = \gamma; \quad y = 0$	$u = b; \quad v = 0$

Для трехкорпусного судна (рис.2, рис.4) аналогично выражению (48) имеем

$$\begin{aligned}
 U(z) = & \frac{A}{\pi} \int_{-\alpha_4}^{-\alpha_3} \sqrt{\frac{(t^2-1)(t^2-\alpha_3^2)(t^2-\alpha_4^2)}{(t^2-\alpha_1^2)(t^2-\alpha_2^2)(t^2-\alpha_5^2)}} \ln|t-z| dt + \\
 & + \frac{A}{\pi} \int_{-1}^1 \sqrt{\frac{(t^2-1)(t^2-\alpha_3^2)(t^2-\alpha_4^2)}{(t^2-\alpha_1^2)(t^2-\alpha_2^2)(t^2-\alpha_5^2)}} \ln|t-z| dt + \\
 & + \frac{A}{\pi} \int_{\alpha_3}^{\alpha_4} \sqrt{\frac{(t^2-1)(t^2-\alpha_3^2)(t^2-\alpha_4^2)}{(t^2-\alpha_1^2)(t^2-\alpha_2^2)(t^2-\alpha_5^2)}} \ln|t-z| dt
 \end{aligned} \tag{50}$$

Формулы соответствия точек в областях $\text{Im } Z > 0$ и E (рис.4) строятся аналогично приведенным в таблице 3.

ЛИТЕРАТУРА

1. Привалов И.И. Введение в теорию функций комплексного переменного. Изд. XIII. – М.: Наука, 1984. – 432 с.
2. Положий Г.И. Эффективное решение задачи о приближенном конформном отображении односвязных и двухсвязных областей и определение постоянных Кристоффеля-Шварца при помощи электрогидродинамических аналогий. //Украинский математический журнал. 1956. Т.7. № 4. – С. 423-432.

ОБ ОСТОЙЧИВОСТИ СУДНА С ЗАКРЕПЛЕННОЙ ТОЧКОЙ

В.Г.Сизов

В практике мореплавания и эксплуатации плавучих сооружений приходится выполнять оценку устойчивости плавучих объектов с закрепленной (неподвижной) точкой. В качестве примера можно указать случай посадки судна на подводную скалу.

Характерной особенностью таких случаев является неправомерность применения обычных способов определения устойчивости при малых наклонениях путем расчета метацентрической высоты, поскольку приложение к судну кренящего момента, например перемещением груза, вызывает изменение водоизмещения. В настоящей работе эта задача решается путем рассмотрения общего случая малых неравнообъемных наклонений судна и использования их свойств. Примем плоскость начальной ватерлинии W_0L_0 за координатную плоскость xFu с началом координат F в центре тяжести площади ватерлинии (рис. 1).

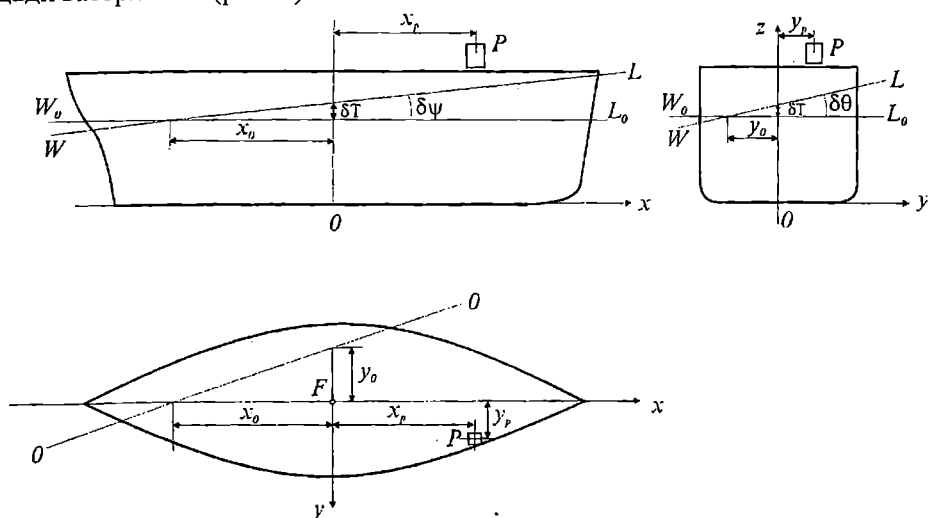


Рис. 1

Допустим, что на судно принят малый груз m с координатами центра тяжести (x_p, y_p, z_p) , тогда малое изменение посадки судна определится величинами:

$$\delta T = \frac{m}{\rho S}; \quad \delta \psi = \frac{m x_p}{D H}; \quad \delta \theta = \frac{m y_p}{D h}. \quad (1)$$

Новая ватерлиния $W_1 L_1$ пересечется с первоначальной по линии 00 , являющейся осью неравнообъемного наклона судна. Положение этой оси определяется отрезками на осях x_0 и y_0 . Из рис. 1 видно, что $\delta T = -x_0$,

$\delta \psi = -y_0 \delta \theta$, откуда на основании (1) получим:

$$-x_0 x_p = \frac{V H}{S}, \quad -y_0 y_p = \frac{V h}{S}. \quad (2)$$

Будем рассматривать прием груза, при котором правые части равенств (2) можно считать постоянными, тогда из этих равенств вытекают следующие свойства малых неравнообъемных наклонов.

СВОЙСТВО 1. Между положениями центра тяжести принимаемого груза и осью наклона судна существует взаимоднозначное соответствие. Иначе говоря, каждой точке (x_p, y_p) , являющейся центром тяжести принимаемого груза, соответствует прямая, задаваемая отрезками x_0 и y_0 на координатных осях, определяемыми уравнениями (2), является осью наклона судна. Справедливо и обратное уравнение. Такие точку и прямую, связанные уравнениями (2), будем называть сопряженными. Параметры x_p, y_p и x_0, y_0 входят в (2) симметрично.

Отсюда следует **СВОЙСТВО 2.** Координаты центра тяжести груза и отрезки, определяющие ось наклона, обладают свойством взаимности. Иначе говоря, если грузу, определенному координатами x_p, y_p (точка А рис. 2), соответствует ось, определяемая отрезками x_0, y_0 (прямая aa), то грузу с координатами x_0, y_0 (точка В) соответствует ось с отрезками x_p, y_p (прямая bb).

Запишем уравнение оси наклона судна, как уравнение прямой в отрезках на осях x_0 и y_0 , используя выражения (2) и учитывая, что отрезки x_0 и y_0 и соответствующие координаты груза x_p, y_p всегда имеют противоположные знаки. Тогда

$$\frac{x x_p}{VH} + \frac{y y_p}{Vh} = -1. \quad (3)$$

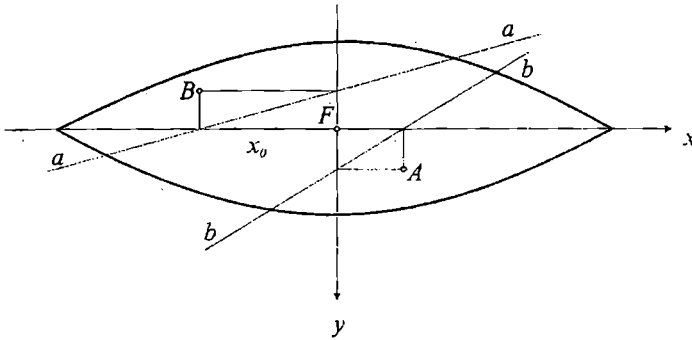


Рис. 2

Здесь x и y – текущие координаты точек на оси наклонения. По симметрии уравнения (3) можно считать x и y переменными координатами груза, тогда постоянная точка x_p, y_p будет все время принадлежать осям наклонения судна.

Отсюда вытекает **СВОЙСТВО 3**. Если принимать груз в различных точках, лежащих на одной прямой, то соответствующие оси наклонения будут проходить через одну и ту же точку, сопряженную с данной прямой. Так, например, если груз последовательно принимать в точках A_1, A_2, A_3, A_4, A_5 , лежащих на одной прямой (рис. 3), то соответствующие оси наклонения $O_1O_1, O_2O_2, O_3O_3, O_4O_4, O_5O_5$ все будут проходить через одну и ту же точку B , сопряженную с прямой A .

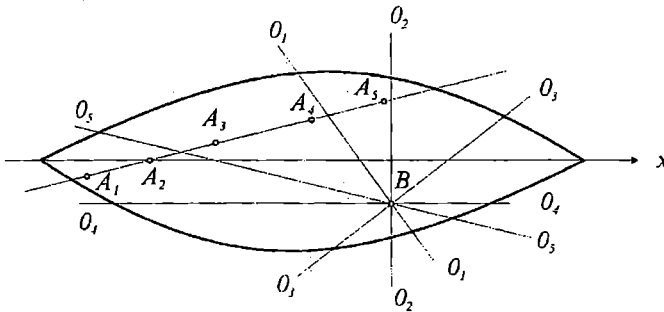


Рис. 3

Рассмотрим теперь действие на судно момента в произвольной вертикальной плоскости и определим положение оси наклонения судна. Для этого

можно, конечно, воспользоваться формулами начальной остойчивости, однако мы применим установленные свойства неравнообъемных наклонений для иллюстрации их использования. При этом пару сил с заданным моментом мы представим как предельный случай, когда сила неограниченно убывает, а точка ее приложения уходит в бесконечность. Пусть прямая MM (рис. 4) есть след вертикальной плоскости, в которой действует момент M .

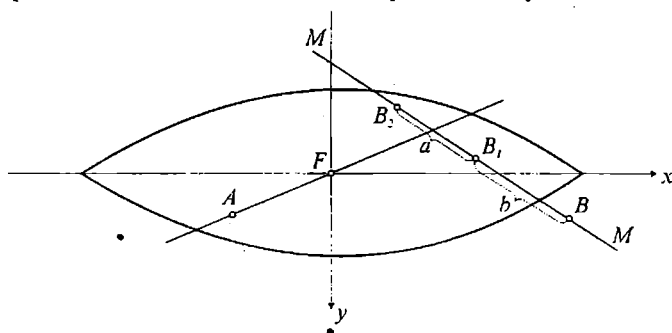


Рис. 4

Возьмем на этой прямой две точки B_1 и B_2 на произвольном расстоянии a одна от другой и приложим в B_1 силу $P_1 = M/a$, а в B_2 силу $P_2 = -P_1(1 - \varepsilon)$, где ε - малая величина. Эти две силы эквиваленты одной их равнодействующей $P = \varepsilon M/a$, приложенной в точке B , лежащей на той же прямой MM на расстоянии $b = a \frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon}$ от точки B_1 . При изменении ε сила P будет перемещаться по прямой MM , поэтому, на основании Свойства 3, оси наклонения от силы P будут все время проходить через точку A , сопряженную с прямой MM . Если теперь устремить ε к нулю, то в пределе силы P_1 и P_2 будут стремиться к паре с моментом M , а сила P будет стремиться к нулю, бесконечно удаляясь. Ее координаты x_p и y_p будут неограниченно возрастать, а в соответствии с равенствами (2), отрезки x_0 и y_0 стремиться к нулю. Это означает, что ось наклонения будет стремиться к прямой AF , что, в соответствии с теоремой Эйлера, будет означать равнообъемное наклонение. Таким образом, бесконечно удаленной точке B , лежащей на прямой MM , сопряжена прямая AF , проходящая через центр тяжести площади ватерлинии.

Отсюда следует способ определения оси наклонения судна при действии момента в заданной плоскости MM . Находим точку A , сопряженную с прямой MM . Прямая AF и будет осью наклонения. Очевидно, что для момента, действующего в любой плоскости, параллельной MM , осью наклонения

будет одна и та же прямая AF , так как сопряженные точки для прямых, параллельных MM , будут лежать на одной прямой AF . Отсюда, на основании Свойства 3, следует также, что если груз принимать на прямой AF , проходящей через центр тяжести площади ватерлинии F , то оси наклона будут параллельны между собой, т.е. будут проходить через бесконечно удаленную точку, сопряженную с прямой AF . При этом, если груз будет приближаться к точке F , оси будут удаляться от нее, и в пределе, когда груз принят в точку F , соответствующая ось наклона уйдет в бесконечность. Это будет случай параллельного погружения судна. Угол наклона судна от приема груза массой m , после определения оси наклона, может быть найден по выражению:

$$\alpha = \frac{\delta T}{d} = \frac{m}{\rho S d}, \quad (4)$$

где d - расстояние точки F от оси наклона, которое определится через отрезки x_0, y_0 , задающие положение оси $d = \frac{x_0 y_0}{\sqrt{x_0^2 + y_0^2}}$.

Учитывая соотношения (2) для угла α , получим

$$\alpha = \frac{m}{D} \sqrt{\left(\frac{y_p}{h}\right)^2 + \left(\frac{x_p}{H}\right)^2} \quad (5)$$

При действии момента M величины δT и d в (4) обращаются в нули, и после раскрытия неопределенности получим

$$\alpha = \sqrt{\left(\frac{M}{D h} \sin \varphi\right)^2 + \left(\frac{M}{D H} \cos \varphi\right)^2}, \quad (6)$$

где φ - угол между вертикальной плоскостью действия момента и осью Ox . Обратимся теперь к случаю судна с закрепленной точкой и применим полученные выше результаты. Рассмотрим наклонение судна под действием силы. Возьмем простейший случай, когда закрепленная точка A (рис. 5) лежит на уровне ватерлинии. Под действием силы P , приложенной в какой-либо точке B , судно наклонится, причем по необходимости ось наклона пройдет через неподвижную точку A . В точке A появится реакция R , таким образом, будем рассматривать свободное судно под действием сил P и R

или их равнодействующей, которая будет лежать на линии AB .

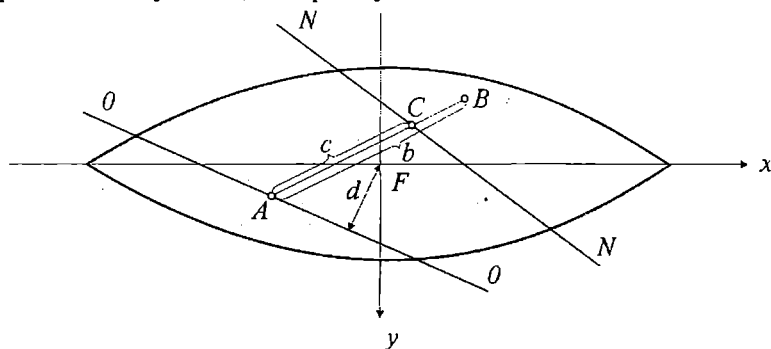


Рис. 5

С другой стороны, на основании Свойства 3, наклонение судна около оси, проходящей через A , может быть осуществлено лишь приложением силы на сопряженной с A прямой NN . Отсюда следует, что равнодействующая Q сил P и R должна быть приложена в точке C пересечения прямых AB и NN . Построив сопряженную с точкой C прямую OO , которая пройдет через A , найдем ось наклонения судна. Измерив расстояние $AB = e$ и $AC = c$, найдем реакцию R точки A и угол наклонения судна:

$$R = \frac{b - c}{c} P, \quad \alpha = \frac{P b}{\gamma S c d}. \quad (7)$$

где d – расстояние точки F от оси OO .

Из (7) следует, что если $e > c$ (силы P и R лежат по разные стороны прямой NN), то реакция R имеет направление силы P . В противоположном случае (силы P и R лежат по одну сторону прямой NN) реакция R имеет направление, обратное силе P . Если сила P лежит на прямой NN , то $e = c$ и $R = 0$, если же сила P приложена на прямой, параллельной NN и проходящей через точку A , то будет $e = 0$ и $R = -P$, наклонение судна будет равнообъемным и осью наклонения будет прямая AF . Установленные результаты могут быть использованы при разработке мер по снижению реакции грунта в случае посадки судна на мель. Зная точку A приложения равнодействующей реакции грунта строим прямую NN , сопряженную с точкой A , делим расстояние между точкой A и прямой NN на несколько равных интервалов, и такие же интервалы откладываем по другую сторону прямой NN . Через полученные точки проводим прямые, параллельные NN , на которых надписываем коэффициенты, обозначающие изменение реакции R от приема на данную пря-

мую единичного груза (рис. 6).

Прямой NN соответствует коэффициент 0, а прямой, проходящей через точку A – коэффициент 1, прямым между A и NN соответствуют положительные коэффициенты (прием на них груза увеличивает реакцию), прямым по другую сторону NN – отрицательные коэффициенты (прием груза уменьшает реакцию). При переносе груза изменение реакции оценивается разностью коэффициентов, соответствующих месту приема груза и месту его снятия.

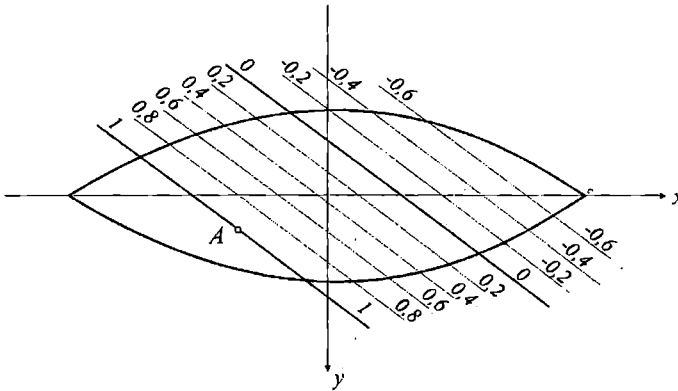


Рис. 6

Рассмотрим теперь наклонение судна с закрепленной точкой при действии момента. Здесь также ось наклонения должна проходить через закрепленную точку A (рис. 7), следовательно равнодействующая момента M и реакции R в точке A должна лежать на сопряженной с A прямой NN . Пусть линия MM есть след вертикальной плоскости момента M .

Представим, как и ранее, этот момент исчезающе малой силой, неограниченно удаленной на прямой MM . Тогда равнодействующая этой силы P и реакции R в точке A должны лежать на прямой, параллельной MM . Отсюда следует простое построение для нахождения оси наклонения: проводим через A прямую, параллельную MM , точка C пересечения ее с NN определит положение равнодействующей момента M и реакции R . Построив прямую, сопряженную с C , которая по необходимости пройдет через A , определим искомую ось OO наклонения судна под действием момента M . Измерив расстояние $AC=c$, найдем реакцию R в точке A и угол наклонения судна α :

$$R = \frac{M}{C}, \quad \alpha = \frac{M}{\gamma S c d}, \quad (8)$$

где d - расстояние точки F от оси OO .

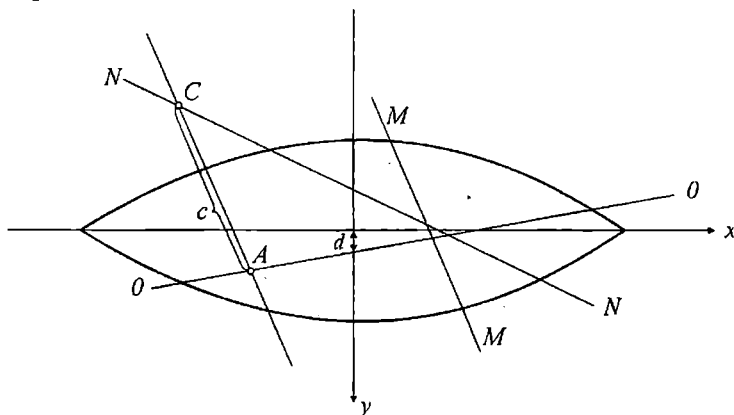


Рис. 7

Из (8) следует, что при заданной величине момента M реакция R будет наибольшей тогда, когда расстояние c будет наименьшим. Это соответствует случаю, когда плоскость момента M перпендикулярна прямой NN . Наоборот, $R = 0$, когда MM параллельна NN и $c = \infty$. В этом случае наклонения будут равнообъемными и осью наклонения будет прямая AF . Таким образом, перемещение груза в направлении перпендикулярном прямой NN является наиболее эффективным способом уменьшения реакции R . Из тех же формул (8) видно, что изменение реакции R и угол наклонения судна при действии момента в любой плоскости можно определить, если известны расстояния c и d . Пусть задано: координаты точки закрепления судна $A(x_A, y_A)$; коэффициенты, характеризующие нагрузку судна

$$K = \frac{VH}{S} \quad \text{и} \quad k = \frac{Vh}{S};$$

угол φ между плоскостью действия момента M и осью F_x . Тогда будем иметь:

уравнение линии NN (рис. 7), сопряженной с точкой A

$$\frac{x_A}{K} x + \frac{y_A}{k} y = -1, \tag{9}$$

уравнение прямой AC , параллельной линии MM

$$y - y_A = (x - x_A) \operatorname{tg} \varphi \tag{10}$$

Для определения координат точки C приложения равнодействующей мо-

мента M и силы реакции R , решаем совместно систему уравнений линий NN и AC . Определитель системы

$$\Delta = \begin{vmatrix} \frac{x_A}{K} & \frac{y_A}{k} \\ -\operatorname{tg}\varphi & 1 \end{vmatrix} = \frac{x_A}{K} - \frac{y_A}{k} \operatorname{tg}\varphi.$$

Определитель для координаты x

$$\Delta_x = \begin{vmatrix} -1 & \frac{y_A}{k} \\ y_A - x_A \operatorname{tg}\varphi & 1 \end{vmatrix} = -1 - \frac{y_A^2}{k} + \frac{x_A y_A \operatorname{tg}\varphi}{k}.$$

определитель для координаты y

$$\Delta_y = \begin{vmatrix} \frac{x_A}{K} & -1 \\ -\operatorname{tg}\varphi & y_A - x_A \operatorname{tg}\varphi \end{vmatrix} = \frac{x_A y_A}{K} - \frac{x_A^2 \operatorname{tg}\varphi}{K} - \operatorname{tg}\varphi,$$

отсюда находим координаты точки C :

$$x_c = \frac{\Delta_x}{\Delta}; \quad y_c = \frac{\Delta_y}{\Delta}. \quad (11)$$

Расстояние $AC = c$:

$$c = \sqrt{(x_A - x_c)^2 + (y_A - y_c)^2} \quad (12)$$

Уравнение оси OO как линии, сопряженной с точкой C , запишется в виде

$$\frac{x_c}{K} x + \frac{y_c}{k} y = -1. \quad (13)$$

Для определения расстояния d от точки F - начала координат до оси OO приведем ее уравнение к нормальному виду, умножая на нормирующий множитель

$$\mu = -\frac{1}{\sqrt{\left(\frac{x_c}{K}\right)^2 + \left(\frac{y_c}{k}\right)^2}}.$$

Расстояние d найдется подстановкой координат точки $F(0,0)$ в нор-

мальное уравнение оси OO

$$d = \mu. \quad (14)$$

Произведение cd будет

$$cd = \frac{\sqrt{(x_A - x_C)^2 + (y_A - y_C)^2}}{\sqrt{\left(\frac{x_C}{K}\right)^2 + \left(\frac{y_C}{k}\right)^2}}. \quad (15)$$

Изменение реакции в точке A и угла наклона судна при действии момента M найдутся по формулам (8).

При значительном изменении реакции R следует уточнить величину k , определив уточненное значение по обычным формулам начальной устойчивости, исправив величину Vh как от снятия груза весом R в точке A и затем повторить расчет по приведенному выше алгоритму.

CLOSE-FIT CONFORMAL MAPPING PROCEDURE AND ITS APPLICATIONS IN SHIP HYDRODYNAMICS

Yuriy A. Krayniy, Yevgeniy V. Pergayev

Introduction

The paper presents a brief outline of the use of precise conformal mapping procedure in ship hydrodynamics.

The basic idea of conformal transformation consists in one-to-one correspondence between the points of two distinct planes, which is expressed by the single analytical function. This enables to map closed contour, whose equation and hydrodynamic characteristics are unknown, into another one with known properties.

Though capabilities of modern computers make needless simplifying assumptions of numerical methods, and memory size and execution time are now of less importance, thus making quite natural to use the most convenient and suitable form of ship surface definition - offset tables, - conformal mapping still remains a useful and powerful tool of the Naval Architect at almost all stages of ship design and production, starting from fairing and lofting and ending with flame cutting [1].

Mapping as a method of ship surface representation has several advantages over other commonly used methods, such as polynomial fitting, spline-interpolation, etc., as it enables to describe the entire cross-section by one mathematical equation, and this is the only method, applicable to vertical lines [2].

The diagram on Fig. 1 (imported from [1]) presents a wide, though not complete, range of applications of conformal mapping to analytical calculations, the common element for all these topics being the need of a database for ship surface. Detailed analysis of applicability of conformal mapping method for solving practical problems, arising in ship design and production, is given in [1].

As our attention is restricted to hydrodynamic problems, let us consider main features of the conformal mapping procedure in this context.

Essentials of the Close-Fit Conformal Mapping Procedure (CFCMP)

The procedure of conformal mapping of the ship-like contour onto the unit [4] circle is based on two algorithms: the first, developed by M. Honkanen [3], and the second, elaborated by D. Hoffman and Th. Zielinski [1], both realising the extended Theodorsen transformation. This transformation, being applied to symmetric contour, gives the following parametric equations for the contour exterior co-ordinates:

$$\begin{cases} Z = \sin \theta + \sum_{n=0}^{N-1} (-1)^n a_{2n+1} \sin(2n+1)\theta \\ Y = \cos \theta + \sum_{n=0}^{N-1} (-1)^{n+1} a_{2n+1} \cos(2n+1)\theta \end{cases}$$

These equations are solved in the least-squares sense to determine N mapping coefficients, provided with the number of input offsets $M \geq (1,5-2)N$. The first algorithm uses the following distribution of the polar co-ordinate θ :

$$\theta_m = -\frac{\pi}{2} \frac{(m-1)}{M-1} \sqrt{\frac{d}{b}}, \quad m=1, \dots, M,$$

where d is the draught, and b is equal to half-beam of the contour. This specific distribution provides generation of the iterated points with slightly higher density in that parts of the contour, where shape is changing abruptly.

Both algorithms were tested for various contour types: fine, chine, rectangular, bulbous, tunnel, etc. The first algorithm showed generally faster convergence, and was found to be more versatile. Further improvements of the original algorithm were due to application of the combined “normal/ray” method of projecting of the iterated points onto the given contour, and to incorporation of the so called “fractional map” [5]. The latter enables to eliminate such serious criticism of the original mapping algorithm, as infinite section slope at the load waterline for the mapped contour. It will be clear from the following: suppose, we have to map the contour with distinguished flare. Let us denote: Z and Y - cross-sectional co-ordinates in the physical plane (i.e. input offsets); β - the angle between the tangent to the contour and the waterline. Input offsets are combined by pairs into the complex variable $X=Y+iZ$. The X -plane is mapped onto the auxiliary plane W by mapping:

$$\begin{pmatrix} w - \frac{b}{\alpha} \\ \frac{b}{\alpha} \\ w + \frac{b}{\alpha} \end{pmatrix} = \left(\frac{x-b}{x+b} \right)^{1/\alpha}$$

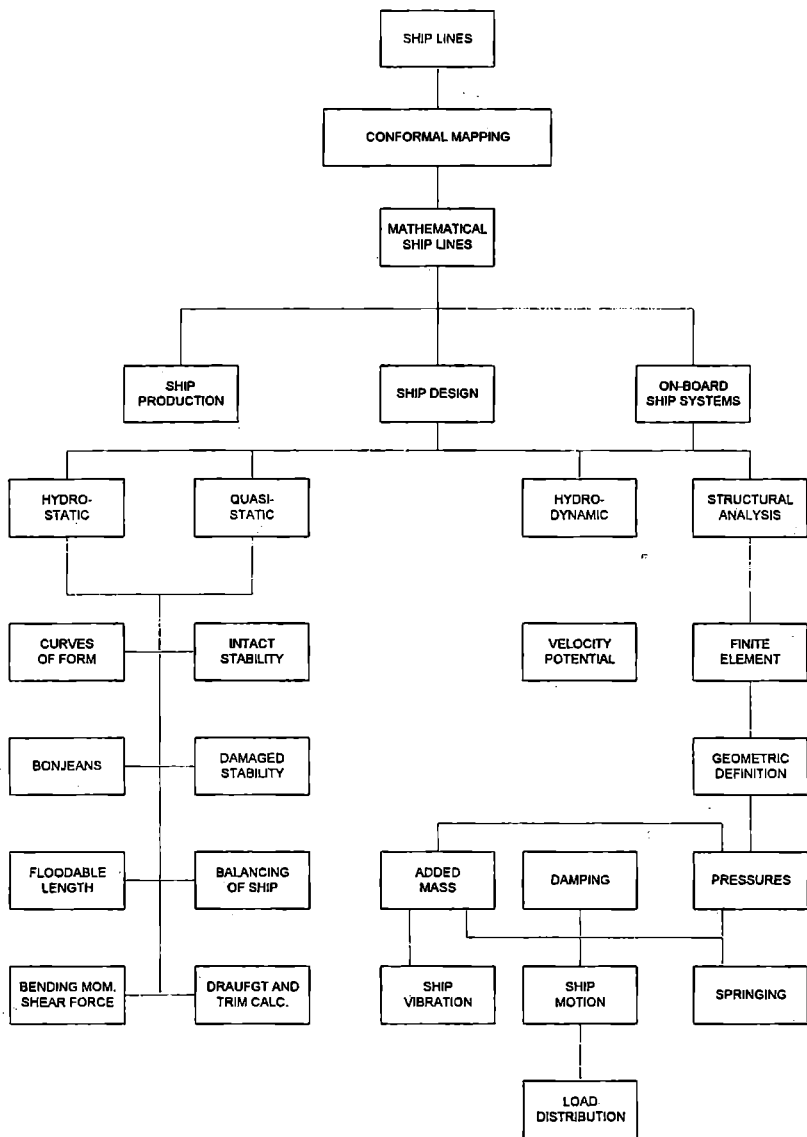


Figure 1. Extent to which the mathematical ship lines are being used nowadays

$$\text{Here } \alpha = 2\left(1 - \frac{\beta}{\pi}\right).$$

Input points $x_i, i=1, \dots, M$, are then mapped into the points w_i . This straightens β -angle in the X -plane, and it transforms into $\pi/2$ in the W -plane. Further the generalised Theodorsen transformation

$$w = \sum_{n=1}^N a_n \zeta^{(3-2n)}$$

is applied directly to the points $w_p, p=1, \dots, M$.

Inverse mapping is as follows:

$$X = b \left(\frac{1+G}{1-G} \right);$$

$$G = \left(\frac{w - \frac{b}{\alpha}}{w + \frac{b}{\alpha}} \right)^\alpha.$$

It is worth noting, that L. Landweber successfully treated this problem, using another transformation techniques, such as branch-point, Joukowski, and Gershgorin transformations [6], and gained a significant improvement of accuracy.

Examples of applications of the CFCMP

Conformal mapping as separate task

As it was already mentioned, core requirements and execution time considerations are nowadays less decisive, than in 1976, when basic algorithm was published by M. Honkanen in his thesis [3]. It takes only 2-3 sec of the CPU time (for an obsolete IBM PC/AT 386DX40) per one cross-section to determine up to 20 mapping coefficients with desirable accuracy (as usual, in 7-8 iterations). So it was found superfluous to perform extra computations for better initial guess, the more so that ellipse with half-axes equal to the draught and half-beam of the contour, taken as the first iteration, works more than satisfactory.

The following formulas for the contour properties (in terms of the mapping coefficients) are used to check accuracy of the mapping [3]:

$$b = \sum_{n=1}^N a_n; \quad d = \sum_{n=1}^N (-1)^n a_n; \quad A = \frac{\pi}{2} \sum_{n=1}^N (3-2n) a_n^2.$$

Fig. 2 shows the result of the map-fitting of the ship-like contour with distinguished flare:

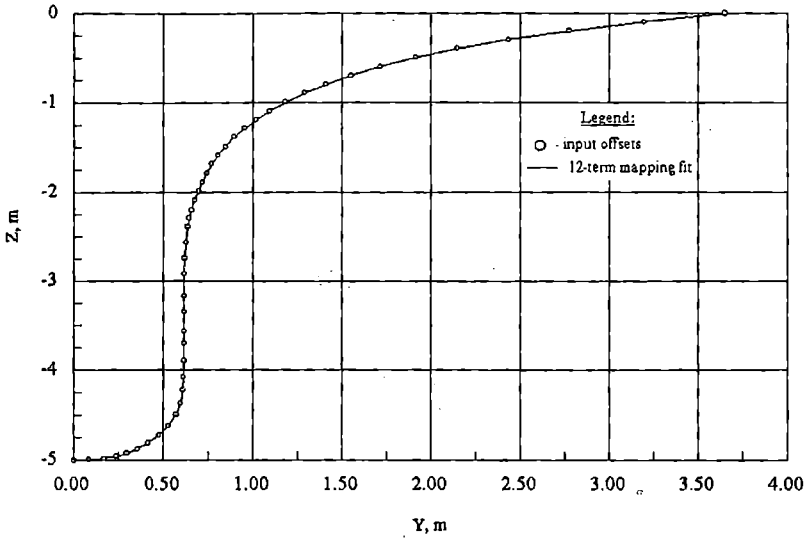


Figure 2. Example of the 12-term mapping of the flared contour

Fig. 3 presents an enlarged fragment of this contour, where improvement due to using fractional mapping is obvious. This operation is absolutely necessary in fairing and lofting, when matching of the under- and above-water parts needs to be smooth and continuous, and in structural analysis (with the aid of Finite or Boundary Element Method), while determining normal pressure, acting on the hull, given vertical or horizontal pressure components.

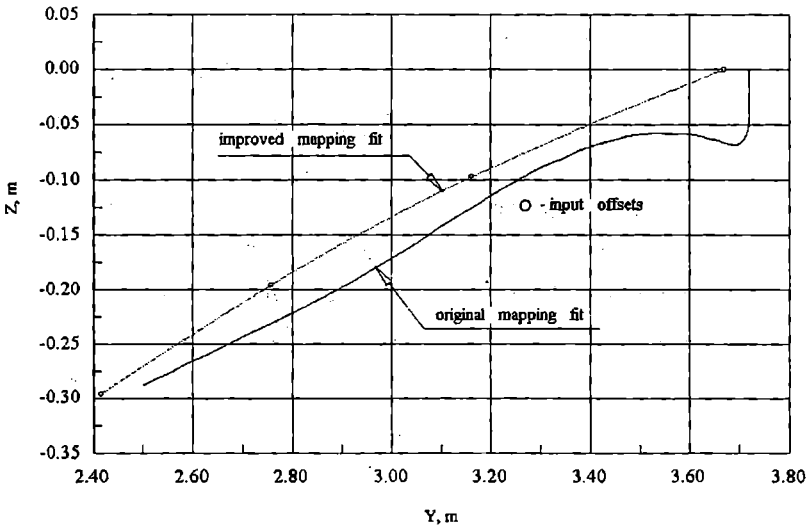


Figure 3. Illustration of improvement of the mapping due to use of the «fractional» method

In case of unsymmetrical contour, expressions for cross-sectional co-ordinates become more complicated [7]:

$$\begin{cases} Z = \sin \theta + \sum_{n=0}^N (-1)^n \{ a_{2n} \cos 2n\theta + a_{2n+1} \sin(2n+1)\theta \}; \\ Y = \cos \theta + \sum_{n=0}^N (-1)^n \{ a_{2n} \sin 2n\theta - a_{2n+1} \cos(2n+1)\theta \}. \end{cases}$$

Processing of such contours is irrespective of the basic algorithm (either worked out by M. Honkanen, or by D. Hoffmann & Th. Zielinski), as bulbous, tunnel and other «exotic» contours become «simpler» in the computational sense, due to the fact, that there is no longer competitive input points (i.e., the co-ordinates of these points become monotonous functions of the polar co-ordinate θ).

Calculation of the hydrodynamic characteristics

The estimation of hydrodynamic characteristics of the contour, oscillating on the free surface of an infinitely deep fluid, is performed, following F. Ursell - W. R. Porter method in modification of M. Honkanen [3]. Resulting expressions for the sectional (i.e. per unit length of the cylinder with cross-section, that corresponds to the contour under investigation) added mass and damping coefficients, and amplitude ratio are given in [3]. Once mapping coefficients are determined, the computations become straightforward, because all the needed characteristics are expressed in terms of a_n . In Fig. 4 the results of computations for heaving rectangular contour with $B/d = 8$ are presented, plotted versus the non-dimensional frequency parameter $\nu = k \cdot b$ (k is the wave number). Computations were carried out with the step-size 0,001 in order to demonstrate, that the graphs are very smooth, without any break, specific for results, obtained by Frank close-fit method, due to numerical instability of the latter.

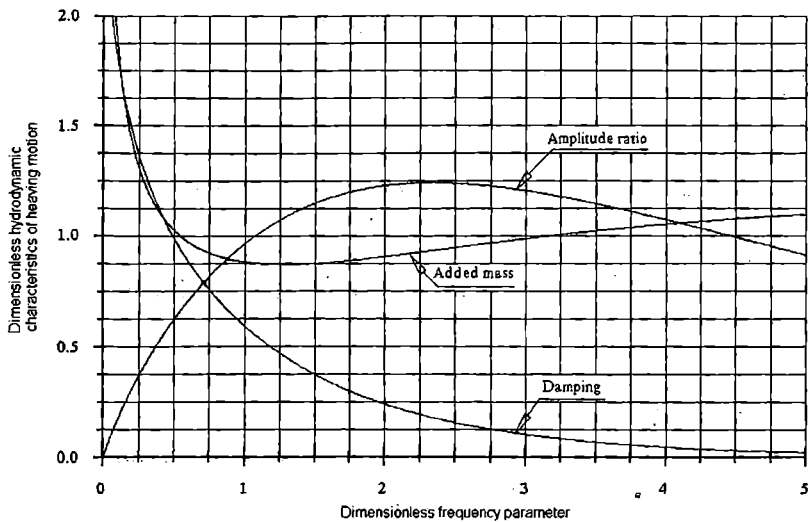


Figure 4. Hydrodynamic characteristics of the heaving rectangular contour $B/d = 8$

Results shown above just refute arguments of A. N. Shebalov et al. [10], asserting that there is no way to calculate the hydrodynamic properties of the rectangular contour having such B to d ratio other than their own, based on the combination of N. Kochin and W. Frank methods.

Strictly speaking, there is no need to use fractional mapping in view of further determination of the hydrodynamic characteristics, as it does not lead to substantial corrections to final results (the matter is, that the hydrodynamic pressure is integrated along the contour, following Gauss procedure; in this case the ends of interval of integration are excluded, so the pressure value in vicinity of the waterline is of less interest).

Flow visualisation

This is a topic, not mentioned in review [1] (see Fig. 1). The problem can be easily solved by calculating and plotting potential streamlines, following method, developed by E.O.Tuck and C. von Kerczek [8].

First of all, one needs to create a database for further computations, this means a matrix of conformal mapping coefficients for a number of cross-sections,

constituting ship's body plan. The number of coefficients depends on the curvature of the actual contour, but in practice it is rarely needed more than 12 coefficients. These coefficients are stored in S by 12 matrix, where S is the number of processed contours (in case of less number of mapping coefficients, the empty cells of the matrix are filled with zeros). Then a spline-interpolation techniques is applied to the matrix, thus enabling continuous analytical representation of the ship hull with given mean draught, trim, and list values. The spline techniques is based on the use of two computer programs: «SPLINE» and «SEVAL» from [9], modified to calculate derivative with respect to the longitudinal co-ordinate s (should the shape of the ship under investigation be complicated in extremities, the more sophisticated methods of spline interpolation with pre-assigned properties must be used). Now it is no problem to reconstruct any cross-section within the ship length.

The final expression for potential streamline is as follows:

$$\begin{aligned} \frac{d\theta}{ds} &= -\frac{1}{\left|\frac{\partial\chi}{\partial\zeta}\right|^2} \operatorname{Im} \left[\zeta \frac{\partial f}{\partial\zeta} - \zeta \frac{\partial\chi}{\partial\zeta} \frac{\partial\bar{\chi}}{\partial s} \right] = \\ &= \frac{2}{\mu^2} \sum_{n=1}^{N-1} \gamma_n \sin 2n\theta, \end{aligned}$$

where

$$\mu^2 = \mu^2(s, \theta) = \left| \frac{\partial\chi}{\partial\zeta} \right|_{r=1} = \left| \sum_{n=1}^N (3-2n) a_n(s) e^{-2\pi i n \theta} \right|^2,$$

and

$$\gamma_n = \gamma_n(s) = \sum_{\nu=1}^{N-n} (3-2\nu) a_\nu(s) a'_{\nu+n}(s).$$

This differential equation is solved numerically, using Runge-Kutta integration routine.

Fig.5 represents a screen-copy of the reconstructed body plan, together with calculated and plotted potential streamlines, for the containership «Geroi Monkady», equipped with the side bulges in order to increase carrying capacity.

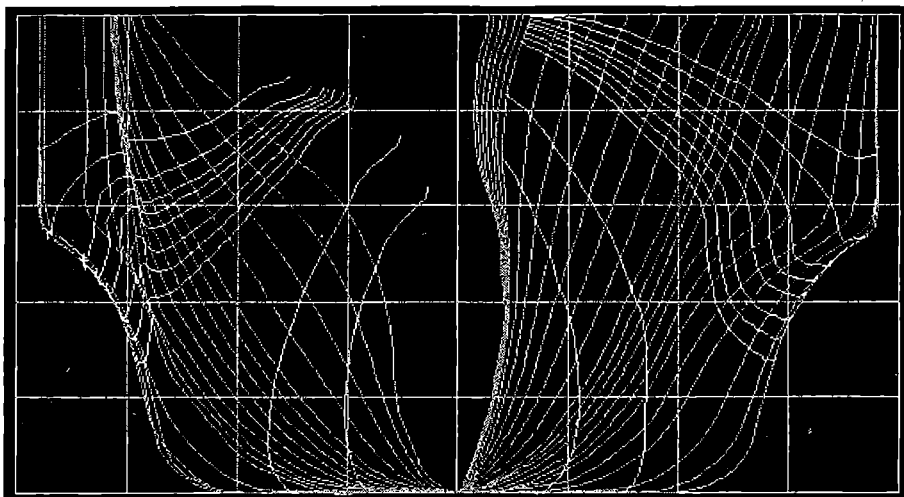


Figure 5. Screen-copy of the surface potential streamlines for m/v «Geroi Monkady».

REFERENCES

1. D. Hoffmann, Th. Zielinski. The Use of Conformal Mapping Techniques for Hull Surface Definition. - *Proceedings of the First International Symposium on Computer-Aided Hull Surface Definition, Annapolis, Md, Sept. 26-27, 1977, P.159-174.*
2. Yu.L. Vorobyov, Yu.A. Krayniy. Development of Methods of Calculation of the Oscillating Ship-like Contours Hydrodynamics Characteristics (In Russian). - *Transactions of Odessa Institute of Marine Engineers, 1986, P.42-46.*
3. M. Honkanen. On the Wave Induced Motions of Ships. - *Svenska Tekniska Vetenskapsakademien I Finland (The Swedish Academy of Engineering Sciences in Finland), Report No 30. 1976.159 p.*
4. Yu. A.Krayniy. Algorithm and Computer Program for Conformal Mapping of the Symmetric Ship-like Contour of Arbitrary Shape onto the Exterior of the Unit Circle (In Russian). - *Deposited into Morflot Publishing Agency 02.09.85, Moscow, No. 479 mf-85 Dep. - 11 p.*
5. C. fon Kerczek, F. Stern. The Representation of Ship Hulls by Conformal Mapping Functions: Fractional Maps. // *Journal of Ship Research, vol.27, No. 3, Sept. 1983, P.158-159.*
6. L. Landweber. Parametric Equations of Ship Forms by Conformal Mapping of Ship Sections. - *Proceedings of the Seventh Symposium on Naval Hydrodynamics, August 25-30,1968, Rome, Italy, P. 1619-1628.*

7. C.A.L. Conceicao, W.G. Price, P. Temarel The Influence of Heel on the Hydrodynamic Coefficients of Ship-Like Sections and A Trawler Form. // *International Shipbuilding Progress*. Vol.31. March 1984. No. 355. P. 56-66.
8. E.O. Tuck, C. fon Kerczek. Streamlines and Pressure Distribution on Arbitrary Ship Hulls at Zero Froude Number. // *Journal of Ship Research*. Vol. 12. No. 3. Sept. 1968. P. 231-236.
- 9 G.E. Forsythe, M.A. Malcolm, C.B. Moler. Computer Methods for Mathematical Calculations (Russian edition). - Moscow: Mir Publishers, 1980. 279 p.
10. A.N. Shebalov et. al. Determination of the hydrodynamic properties of the oscillating contour of arbitrary shape with the use of N.Ye. Kochin - W. Frank method. // *Problems of Shipbuilding, Ser. Ship Design*. Issue 39. 1984. P. 73-80.

ВЛИЯНИЕ ВЕТРОВОГО ВОЛНЕНИЯ НА ПРОДОЛЬНУЮ КАЧКУ ПЛАВАЮЩЕЙ МАШИНЫ

С. В. Бугаев

Продольная качка плавающей машины (ПМ), возникающая при ее эксплуатации на волнении, может оказывать существенное влияние на работу агрегатов и узлов, водоходных движителей, на величину продольных нагрузок, действующих на элементы корпуса машины, системы навигации и вооружения, а для переправочно-десантной плавающей техники - еще и влияние на сохранность перевозимого груза, а также на возможность его смещения, что может привести к гибели машины. Несмотря на очевидный научный и практический интерес к данной проблеме, многие вопросы, связанные с определением амплитудно-частотных характеристик машины и величины ее наклонов в продольной плоскости при волнении, недостаточно изучены. В известной автору литературе [1,2,3,4], как правило, приводятся крайне ограниченные и зачастую противоречивые сведения о поведении плавающей машины на волнении, которые в основном касаются определения величины углов наклона машины в поперечной плоскости. Это и определило необходимость проведения исследований влияния ветрового волнения на характеристики качки плавающей машины в натуральных условиях, программа которых предусматривала:

1. Исследования влияния скорости движения плавающей машины в разрез волне на амплитудно-частотные характеристики её продольной качки.
2. Определение величины ходового дифферента машины в зависимости от скорости ее движения в условиях волнения, с его последующим сравнением с данными ходового дифферента, полученного на спокойной воде.
3. Установление зависимостей амплитудно-частотных характеристик машины от ее курсового угла относительно фронта волны при отсутствии движения.

В качестве объекта исследования принималась плавающая гусеничная машина ПТС-2, внешний вид которой приведен на рис. 1. Машина имела следующие габаритные размеры: длина 11990 мм, ширина по гусеницам 3300 мм, высота 3170 мм.

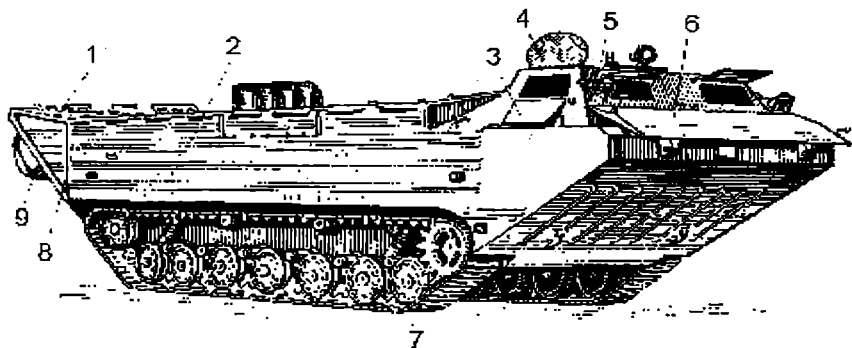


Рис.1. Общий вид транспортера ПТС-2: 1-аппарель; 2-корпус; 3-откидной щит; 4-люк; 5-кабина;6-волноотбойный щиток; 7-гусеничный движитель; 8-откидной борт; 9- оборудование для самоочистывания

Для проведения натурных испытаний был выбран участок акватории лимана в районе Б. Днестровского порта. Длина участка принята 1 км с глубиной не менее 5 м согласно рекомендации [2]. Участок был тщательно обследован, изучены его гидрологические условия, выполнены промеры глубин. В ходе испытаний волнение действовало преимущественно вдоль участка. На берегу опытного участка (рис 2) была разбита базовая линия 1-1 в опорных точках которой устанавливались теодолиты ТТ 5А для определения местоположения плавающей машины на воде. Параллельно базовой линии 1-1 на расстоянии 60 м от берега закреплялся направляющий створ 3-3 с помощью створных знаков по концам. Кроме того, на каждой точке створа разворачивался пост связи (в точках 2), который представлял собой плавающую машину, оборудованную радиостанцией Р-123М. Аналогичная радиостанция стояла и на испытываемой машине. Помимо обеспечения связи, эти машины использовались как подвижные средства эвакуационно-спасательных групп, обеспечивающих безопасность проведения экспериментов. Характеристики качки машины измерялись гироскопическим датчиком угла ДК-6, с фиксированием результатов на фотоленте шлейфового осциллографа К12 22.

Опыты первой серии проводились при трехбалльном волнении в следующем порядке. Испытуемая машина устанавливалась на участке разгона в исходном положении (4) и ориентировалась относительно направляющего створа (3-3). Затем включалась регистрирующая аппаратура, после чего по команде руководителя машина начинала движение с постоянной скоростью, которая контролировалась числом оборотов коленчатого вала двигателя.

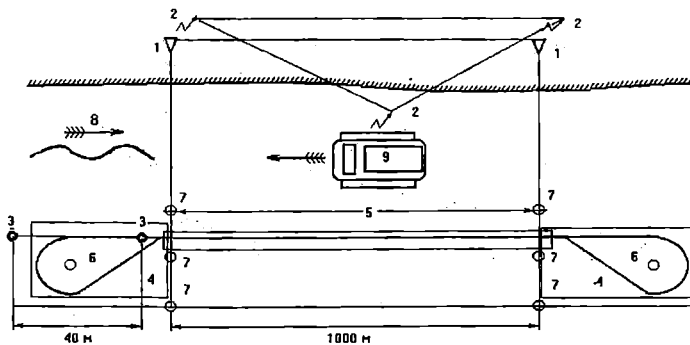


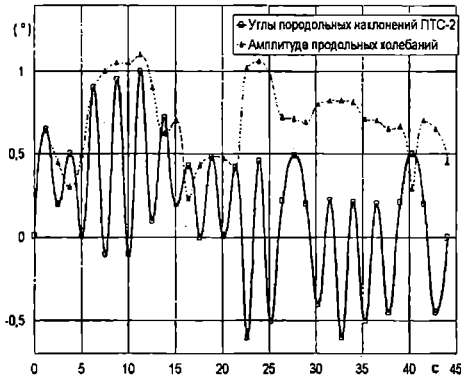
Рис. 2. Схема участка проведения экспериментов: 1 - дальняя и ближняя опорные точки базисного створа; 2 - радиостанции; 3- створные знаки направляющего створа; 4 -участки разворота и разгона ПМ; 5- участок измерений; 6- буи точек разворота; 7- створные и ограничительные буи; 8 - направление распространения фронта волны; 9-направление движения плавающей машины

Положение машины в ходе эксперимента определялось теодолитами прямой засечкой с радиосинхронизацией и отсчетом времени по электронному секундомеру. Имея по засечкам пройденное машиной расстояние, а по секундомеру - время, можно легко вычислить скорость движения машины на каждом участке. Фиксировались также отклонение машины от маршрута движения. Для обеспечения прямолинейного движения машины на конценаправляющего створа 3-3 были выставлены два створных знака в точках с расстоянием между ними 40 м.

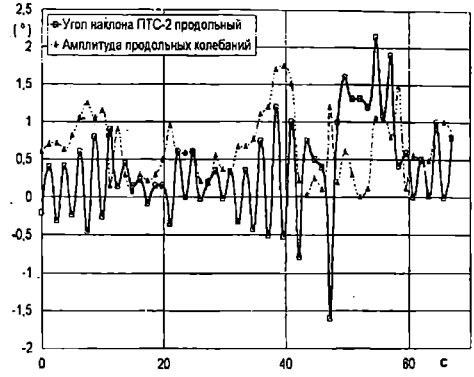
Опыты проводились при следующих скоростях движения ПМ, которые контролировались по частоте вращения коленчатого вала двигателя: 1,4 м/с – 1100 мин⁻¹; 1,94 м/с – 1450 мин⁻¹; 2,78 м/с – 2050 мин⁻¹; 3,1 м/с – 2400 мин⁻¹. Исследования проводились по схеме однофакторного эксперимента [5]. С целью уменьшения погрешностей наблюдений, каждый опыт проводился не менее четырех раз с последующей обработкой результатов по методике [6]. Ход проведения экспериментов записывался на видеопленку для дальнейшего анализа полученных результатов.

Наиболее типичные фрагменты осциллограмм продольной качки плавающей машины при движении ее навстречу волне приведены на рис.3.

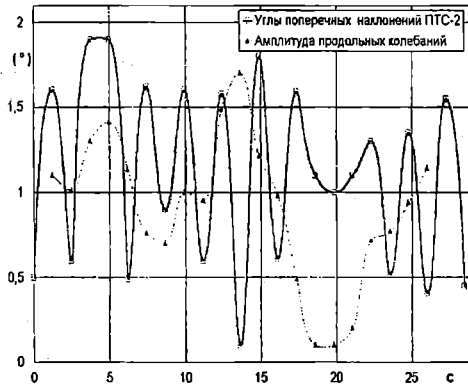
а)



б)



в)



г)

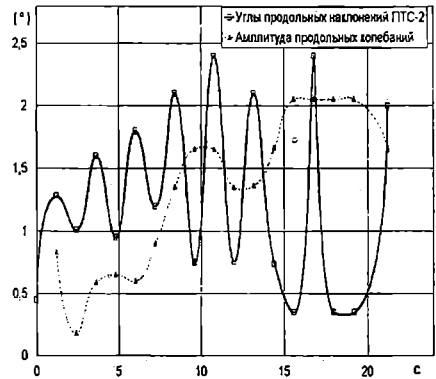


Рис.3. Амплитуда продольной качки и углы наклоения плавающей машины, в зависимости от ее скорости при движении в разрез волне: а) при $v = 1,4$ м/с; б) при $v = 1,9$ м/с; в) при $v = 2,8$ м/с; г) при $v = 3,1$ м/с

Опытные зависимости амплитуды продольной качки, минимальных и максимальных углов наклоения машины, а также возникающего ходового дифференциала от скорости её движения приведены на рис.4.

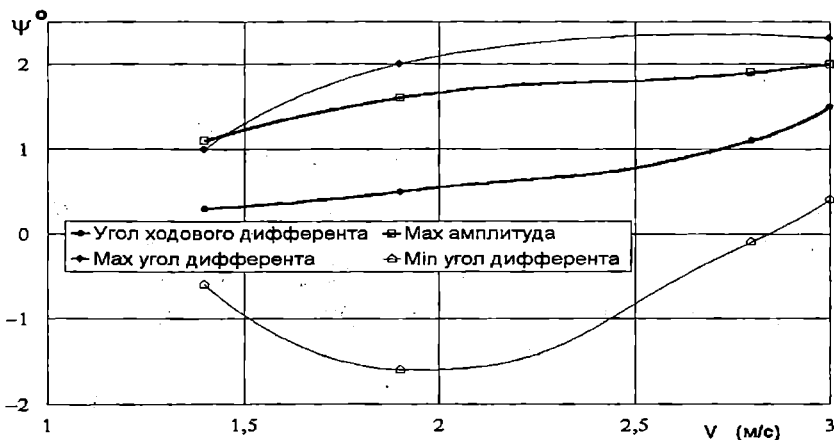


Рис.4. Зависимости изменения ходового дифферента, величины угловых колебаний, максимальных и минимальных углов дифферента от скорости движения плавающей машины

Как видно из представленных на рис. 4 графиков, с увеличением скорости движения машины в разрез волне величина угловых колебаний продольной качки растет (кривая \oplus). Так, при $v=1,4$ м/с максимальная амплитуда составила 1° , а при $v=3$ м/с - 2° . При малых скоростях ($v < 1,4$ м/с) движения машины диапазон качки лежит в пределах от 1° на нос до $0,5^\circ$ на корму, с увеличением скорости до $v=2$ м/с он несколько расширяется от 2° на нос до $1,8^\circ$ на корму, что скорее всего обусловлено спецификой гидродинамики плавающей машины. С увеличением скорости движения ПМ диапазон колебаний постепенно уменьшается и при $v=3$ м/с составляет от $2,3^\circ$ до $0,5^\circ$ на нос, что, вероятно, обусловлено влиянием гироскопического эффекта вращающихся деталей машины, а также упора гребных винтов. Величина возникающего ходового дифферента машины от скорости движения, в связи с относительно большой величиной ее запаса плавучести, невелика. Так, при $v=2$ м/с она составила около $0,5^\circ$. С увеличением скорости рост ходового дифферента становится более интенсивным. При $v=3$ м/с он уже составляет $1,5^\circ$ на нос, что подтверждает ранее проведенные в ОГМУ модельные исследования [6].

Результаты исследований частотного спектра продольной качки плавающей машины при трехбалльном волнении в зависимости от ее скорости движения в разрез волне приведены на рис.5. Следует отметить, что при проведении спектрального анализа, с целью устранения субъективной ошибки, фрагменты осциллограмм кодировались и обезличивались, и только после

получения спектральных портретов каждой из анализируемой выборки была установлена ее принадлежность к определенным условиям проведения эксперимента.

Из приведенных на рис. 4 зависимостей следует, что с увеличением скорости движения плавающей машины в разрез волне растет средняя частота ее качки. Так, при $v = 1,39$ м/с максимальная частота равна $\omega_{\max} = 1,5$ с⁻¹, а минимальная $\omega_{\min} = 0,9$ с⁻¹; при $v = 3,06$ м/с частоты соответственно равны $\omega_{\max} = 1,9$ с⁻¹; $\omega_{\min} = 1,3$ с⁻¹. Следует отметить, что зависимость спектра частот продольной качки машины имеет закономерность, близкую к нормальному распределению.



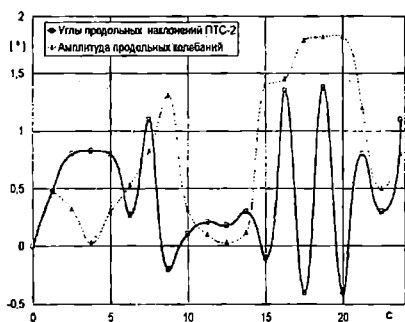
Рис.5. Спектр частот продольной качки плавающей машины в зависимости от ее скорости движения в разрез волне:
 1- при $v = 0$ м/с; 2- при $v = 1,39$ м/с; 3 - при $v = 1,944$ м/с;
 4 - при $v = 2,22$ м/с; 5 - при $v = 2,5$ м/с; 6 -при $v = 2,78$ м/с;
 7- при $v = 3,06$ м/с

Во второй серии опытов определялись зависимости влияния направления плавающей машины относительно фронта волны на характеристики ее качки.

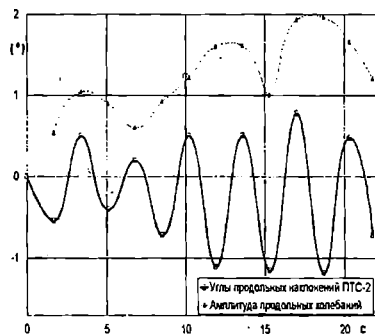
Опыты проводились в такой последовательности: машина устанавливалась на опытовый участок в исходное положение таким образом, чтобы было обеспечено хорошее визуальное наблюдение за ней и удобное выполнение видеосъемки хода экспериментов. Первоначально машина ориентировалась навстречу волне, её положение фиксировалось штатным гирополукомпасом

ГПК-59. Для этого направления машины записывались характеристики продольной качки на фотоленту шлейфовым осциллографом К-12 22. Затем машину разворачивали по гирополукомпасу на 45° относительно волны на левый борт, производились измерения характеристик продольной качки. Таким же образом проводилась запись характеристик продольной качки и при положении машины лагом к фронту волны. Каждый опыт проводился не менее 4-х раз с последующим анализом полученных результатов. Некоторые фрагменты осциллограмм приведены на рис.6.

а)



б)



в)

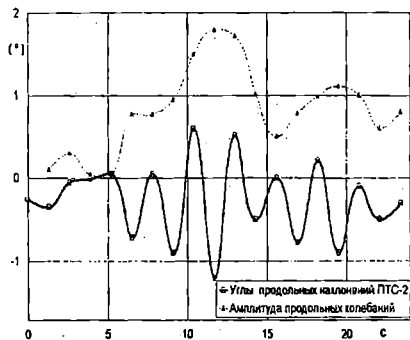


Рис.6. Фрагменты осциллограмм характеристик продольной качки плавающей машины в зависимости от ее ориентации относительно фронта волны: а) носом к волне; б) под углом 45° ; в) лагом к волне

Из приведенных на рис.6 зависимостей видно, что при всех положениях

машины относительно фронта волны характеристики амплитуды колебаний и максимальных углов наклонов практически одинаковы. Это может объясняться нахождением машины вне резонансной зоны качки, значительными демпфирующими моментами, вызванными плохообтекаемой формой погруженной части машины, и незначительным отношением длины к ширине корпуса, которое составляет 3,6.

Таким образом, проведенные исследования позволили получить амплитудно-частотные характеристики продольной качки плавающей машины в натуральных условиях, которые могут быть использованы для определения величин сил и моментов, действующих на элементы ее конструкции, агрегаты и узлы, а также перевозимый груз. Следует отметить, что результаты, полученные в ходе проведенных экспериментов, подтверждаются данными лабораторных испытаний моделей плавающих машин, выполненных в опытовом бассейне ОГМУ [6].

ЛИТЕРАТУРА

1. Папенко Т. Р. О выборе запаса плавучести для многоцелевых автомобилей // *Научно-технический сборник в/ч 63539*. – 1979. – № 1. – С 35 - 41.
2. Степанов А.П., Давыдов Н. Г. *Эксплуатация и безопасность движения плавающих машин*. - М.: Транспорт, 1988. - 316 с.
3. Жульнев Н. Я. Оценка статического запаса плавающих амфибий машин с учетом параметров качки и бронестойкости // *Сборник научных трудов МАДИ*. - 1992. - №1. - С. 57 - 63
4. А.Б. Коняев Регрессивные модели для определения максимальных углов крена и дифферента при работе плавающей машины в условиях нерегулярного волнения// *Сборник научных трудов МАДИ*. - 1992. - №1. - С. 27 - 35.
5. Адлер Ю.П. Маркова Е. В. Грановский Ю. В. *Планирование эксперимента при оптимальных условиях* М. Наука 1976. 279с.
6. Бугаев С. В. *Плавающая машина. Теория и эксперимент*. - Одесса: ОГМУ, 2000. – 322 с.

МОДЕРНИЗАЦИЯ КАК СПОСОБ ПРОДЛЕНИЯ СРОКА СЛУЖБЫ И ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ СУЩЕСТВУЮЩИХ СУДОВ

Г. В. Егоров

Развитие мирового морского транспорта и морехозяйственного комплекса определяется теми тенденциями, которые свойственны мировой экономике в целом.

Проблемы старения мирового флота возникли к концу 1980-х годов. К тому времени, например, более половины наливных судов были старше 15 лет. Для замены старых транспортных судов требовалось вложить в отрасль более 200 млрд. долларов, что сами судовладельцы сделать не могли. Требовалась государственная поддержка новому судостроению, которая и была оказана в Европе, США, Японии, Южной Корее, Китае. Например, по европейскому плану улучшения технического состояния парка транспортного флота объём вводимого в эксплуатацию тоннажа должен был компенсироваться списанием устаревшего тоннажа того же объёма, в противном случае, владельцы старых судов облагались специальным налогом. Даже в таких условиях списание старых судов было невыгодно, так как стоимость строительства нового флота на европейских верфях существенно превышала налоги за сохранение судна. Как следствие, количество сданных на металлолом судов сократилось с 1985 года по 1990 год практически на порядок.

Другое следствие старения флота - рост аварийности. Авария судна зачастую приводит к серьёзным экологическим, социальным и технико-экономическим последствиям. В 90-е годы многие страны разработали национальные требования, предъявляемые к судам, заходящим в их порты, включая требования к возрасту.

Примером может служить ужесточение политики США после посадки на мель с последующим катастрофическим разливом нефти танкера Exxon Valdez, произошедшей из-за навигационной ошибки в 1989 году. В результате этой аварии в августе 1990 г. был принят Oil Pollution Act (OPA-90). Согласно

указанному закону в порты США был запрещен заход танкеров без двойного дна и двойного борта валовой вместимостью более 30000 и в возрасте более 28 лет с 1 января 1995 года, и валовой вместимостью 3000 и более и в возрасте более 23 лет с 1 января 2000 года. Было решено, что к 2015 г. все танкеры с валовой вместимостью свыше 5000 должны будут иметь двойные корпуса, а меньшего тоннажа - двойные корпуса или другую дополнительную защиту грузовых танков.

После перелома в шторм с последующим загрязнением побережья Франции танкером «Эрика», и Японии танкером «Находка» подобные меры были поддержаны ЕС и правительством Японии. Определенные шаги в этом же направлении делаются в России, например, после разлива около 70 тонн мазута в результате посадки на мель нефтерудовоза проекта 1553 предлагалось запретить проход по реке Нева судов с нефтью и нефтепродуктами, если последние не имеют двойного дна и двойных бортов.

Средний возраст транспортных судов, находящихся под флагами стран СНГ и под контролем отечественных судовладельцев, неуклонно растет и по большинству категорий судов близок или превысил 20 лет [1].

Не лучшим образом обстоят дела в рыбном хозяйстве. Например, на начало 1999 года Украина располагала 120 рыболовными судами различных типов, из них на промысле работало около 35. Большинство судов имели возраст более 35 лет [2].

При обычном списании за год порядка 300-500 единиц флота и строительством 15-20 новых, легко представить, что останется в распоряжении наших стран к 2005-2007 году. Например, по некоторым оценкам, под флагом России к 2005 году будут работать не более 700 транспортных судов [3].

В сложившейся ситуации судовладельцы были вынуждены искать пути продления срока службы своих судов с выполнением различного рода процедур по обеспечению безопасной их эксплуатации и сохранения приемлемого уровня риска.

Такой наиболее известной в отечественной практике процедурой является обновление (реновация) корпусов судов.

Обновление предполагает получение от классификационного общества сертификата Hull Renovation установленной формы. Сертификат выдается на судно после его обследования и последующего необходимого ремонта или восстановления соответствующих элементов судовых конструкций до уров-

ня надежности, требуемого классификационным обществом. После получения данного сертификата судовладелец получает определенные преимущества, а корпус судна рассматривается как 5-летний (уровень 1SS), 10-летний (уровень 2SS) в зависимости от объема восстановительных работ, выполненных в соответствии с состоянием обследованного корпуса и пожеланий судовладельца. Кроме выдачи упомянутого сертификата, делается запись в Классификационном Свидетельстве. Реновация после завершения работ сохраняет год постройки, первоначальный класс и тип судна.

К моменту появления в 1992 г. Руководства Российского Морского Регистра Судоходства (РС) по обновлению корпусов судов, в мире был накоплен большой опыт реновации.

Их официальное начало относится к 1990 году. Первым судном, на котором были выполнены подобные работы, принято считать супертанкер Hellepont Paradise постройки 1975 г., дедвейтом 315700 тонн ($L = 354,57$ м, $B = 56,41$ м, $T = 22,30$ м). Восстановительный ремонт корпуса судна выполнялся по схеме 1SS Регистра Ллойда на верфи Dubai Drydocks по заказу компании Parachristidis Ship Management.

Ремонту предшествовала тщательная оценка прочности и надежности корпуса, выполненная Регистром Ллойда во время двух последовательных переходов судна в балласте, в процессе которых было произведено только измерений свыше 9000. Общая стоимость ремонта составила 3 млн. долларов. Оценка прочности корпуса стоила 120 тыс. долларов. Замена деталей конструкций корпуса - 100 тыс. долларов. Ремонт грузовых трубопроводов - 130 тыс. долларов. Мойка танков - 110 тыс. долларов. Очистка, ликвидация участков язвенной коррозии, окраска конструкций корпуса - 200 тыс. долларов. Установка системы катодной защиты - 250 тыс. долларов.

После окончания ремонта судну впервые в мире было выдано свидетельство Ллойда «Condition Assessment Scheme Certificate (Hull Renovation)», удостоверяющее восстановление прочности корпуса и гарантирующее эксплуатацию судна до 2010 года (т.е. сроком на 15 лет).

Аналогичная процедура РС по обновлению судов предполагает приведение в соответствие с нормативами моментов сопротивления контрольных сечений корпуса и толщин обшивки и настилов, толщин стенок и полок, моментов сопротивления и моментов инерции поперечных сечений балок набора корпуса. В настоящий момент нормативы в зависимости от района плава-

ния и ледовой категории определяются «Инструкцией по оценке технического состояния корпусов морских транспортных судов». Указанная инструкция является приложением к Правилам РС классификационных освидетельствований и разработана специалистами ОНИЛ ПОЛЕКС, Калининград при активном участии автора настоящей статьи и других членов секции Научно - Технического Совета РС по прочности и конструкции корпуса.

Обязательным при проведении обновления является восстановление надлежащего внешнего вида корпуса судна, что должно подтверждаться представлением фотографий судна до и после восстановительного ремонта.

Как показал опыт Морского Инженерного Бюро, накопленный при проведении более, чем двух сотен реноваций корпусов судов самых различных типов, объемы восстановительного ремонта по требованиям обновления обычно больше соответствующего объема ремонта на подтверждение класса на 5-20%.

Проведение процедуры обновления и получение соответствующего сертификата позволяет судовладельцу эксплуатировать судно на порты, где есть ограничения по возрасту (15, 20 лет). Обновленное судно заметно легче отфрахтовывается. По ряду грузов грузоотправители отказываются от перевозок на судах, корпуса которых не прошли процедуру обновления. Не прошедшие реновацию суда старше 30 лет получают класс только на 2 года и должны ежегодно доковаться. Не удовлетворяющие требованиям обновления суда старше 20 лет не могут быть приняты в класс РС из классов иных классификационных обществ, в том числе и Российского Речного Регистра (РРР).

Основной недостаток процедуры обновления: реновация касается только надежности корпуса. Машины, механизмы, устройства и системы остаются без изменений. Отсюда в судовых документах не меняется возраст судна и поэтому реновация не позволяет, как правило, снизить страховые ставки и мало влияет на экономику судна, т.к. в целом риск эксплуатации судна зависит не только от состояния корпуса, но и прочих элементов судна.

Что делать судовладельцу, которого не устраивают практические результаты процедуры обновления, и у которого нет средств на постройку нового судна?

Провести конверсию (от английского conversion) судна – крупную, как правило, размерную модернизацию судна с предъявлением его по всем частям как «нового», т.е. на соответствие требованиям международных конвен-

ций и правил классификационного общества на дату предъявления [4] и, таким образом, восстановить надежность судна до уровня, соответствующего новому судостроению.

После проведения конверсионных работ судовладелец может получить практически новое судно с полным комплектом документов, одобренных классификационным обществом, а срок службы судна может исчисляться от даты модернизации. Как правило, подобная конверсия позволяет изменить при необходимости и назначение судна, нередко за 20-30% от стоимости нового.

Конечно, основным путем пополнения транспортного флота специализированными судами является судостроение. Однако, необходимую транспортную единицу в некоторых случаях легче получить путем переоборудования судна, изменения его главных размерений. В этом случае выигрывается во времени достигается не только за счет меньшей продолжительности работ, но и значительного сокращения сроков проектирования.

Конверсия судов позволяет решать задачи по продлению срока службы и повышению безопасности в кратчайшие сроки и с минимальными затратами. Некоторые суда устаревают морально задолго до наступления предельного физического износа их корпусов и механизмов. Причем, преждевременное моральное старение не является, как правило, результатом просчетов при проектировании и постройке судов; зачастую их рано сдавать на слом, и выходом из такого положения может стать модернизация или переоборудование.

В качестве примера можно привести отечественные суда речного флота, которые даже после 20-ти летней эксплуатации на внутренних водных путях имеют практически неизношенные корпуса и вполне пригодные механизмы. Изменилась экономическая обстановка и они стали невостребованными по своему проектному назначению [5].

Морские суда, напротив, изнашиваются неравномерно. В районах наибольшего износа корпуса возможно применение эффективного секционно-блочного метода ремонта, обеспечивающего минимальные сроки вывода судов из эксплуатации. Эти сроки почти не увеличиваются при сочетании восстановительного ремонта с размерной модернизацией, т.е. при замене изношенных конструкций новыми, более крупными, размерная модернизация весьма эффективна.

Анализируя многочисленные случаи модернизации и переоборудования

судов за рубежом, можно выделить следующие основные технологические направления:

- увеличение главных размерений судна путем замены части его корпуса новой, более крупной;
- увеличение главных размерений судна с помощью вставок и наделок с использованием всего старого корпуса;
- создание многокорпусных судов из однокорпусных, а также расчленение корпуса на отдельные части, которые после дооборудования используются в качестве самостоятельных плавучих сооружений.

Следует отметить, что при удлинении корпуса нередко удается увеличить скорость судна, а при его удлинении и расширении - сохранить скорость, практически, на прежнем уровне.

Компанией Shell UK в 1989 году был рассмотрен вопрос о переоборудовании, включая замену главных двигателей, танкера Shell Craftsman, построенного в конце 60-х годов. Три однотипных танкера, принадлежащих компании British Petroleum Oil, перед этим прошли модернизацию на верфи Wear Dockyard в Сандерленде, при этом были заменены главные двигатели, обновлено покрытие танков и т.д. Поскольку корпуса судов, также как и у танкера Shell Craftsman, оказались в хорошем состоянии, срок их службы был продлен еще на 15-20 лет. Модернизация каждого судна занимала 2 месяца, стоимость работ составила 9,6 млн. долл.

Одним из основных направлений конверсии являлась модернизация универсального судна в специализированный контейнеровоз. В мировой практике накоплен большой опыт выполнения подобных работ, начало которых относится на середину шестидесятых годов (периода массового списания судов типа Либерти).

В качестве примера подобной модернизации можно привести конверсию серии судов Leverkusen, Erlangen, Ludwigshafen и Hoechst, которые были построены как многоцелевые суда в 1970-1971 годах для работы на линии порт Гамбург - порты Америки.

По своему архитектурно-конструктивному типу эти суда представляли собой многопалубные суда со смещенным в корму машинным отделением, баком, шестью трюмами, грузовыми кранами и стрелами на главной палубе.

Модернизация судов была выполнена в 1979 году на верфи Bremen Vulkan с последующим переименованием судов в Leverkusen Express, Erlangen

Express, Ludwigshafen Express и Hoechst Express; после выполнения всех работ суда стали рассматриваться как новые.

В процессе конверсионных работ верфь сохранила кормовую и носовую часть судна, выполнив необходимое их переоборудование, изготовила и установила новую среднюю часть судна, размеры которой не соответствовали размерам демонтированной. В результате, изменился класс и назначение судна, его главные технические характеристики (см. табл. 1). Судно после модернизации стало способно принимать на борт 951 TEU (при трех ярусах контейнеров на палубе), а скорость судна в рабочем диапазоне мощностей главного двигателя, несмотря на увеличение ширины корпуса судна почти на 13,5 % и его удлинение на 10,0 %, уменьшилась всего на 0,15-0,30 узла.

Таблица 1. Характеристики судна типа *Leverkusen Express*

Наименование	До модернизации	После модернизации
Длина максимальная, м	165,10	181,439
Длина между перпендикулярами, м	155,00	171,160
Ширина, м	24,50	27,800
Высота борта, м	14,50	14,370
Осадка максимальная, м	10,77	10,586
Дедвейт, т	16265	21307
Вместимость валовая	13073	16736

Несколько иную модернизацию многоцелевого судна в контейнеровозы выполнили в 1980 году в Дальневосточном пароходстве. Суда типа «Пула» были модернизированы на верфи Jurong путем удлинения корпуса на 16,8 м, демонтажа грузового устройства, укладки 2960 тонн твердого балласта и т.п. В результате переоборудования контейнеровместимость судна составила 704 TEU, изменились технические характеристики судна (см. табл. 2).

Характеристики судна типа Пула

Наименование	До модернизации	После модернизации
Длина максимальная, м	159,42	176,240
Длина между перпендикулярами, м	148,38	165,180
Ширина, м	21,25	21,25
Высота борта, м	12,60	12,600
Осадка максимальная, м	9,68	9,800
Дедвейт, т	14380	15203
Вместимость валовая	10457	12100
Дальность плавания, мили	15700	29000
Расход топлива, т/сутки	42	42

В последние 10 лет особую роль в отечественном судоходстве занимают суда ограниченных районов плавания (СОРП), полученные путем модернизации существующих речных и смешанного река-море плавания судов (ССП). В настоящее время такие суда эксплуатируются под флагами России, Украины, Эстонии, Турции, Греции, Мальты, Панамы, Гондураса, Белиза, Камбоджи и ряда других стран. Суда имеют классы РС, GL, Российского Речного Регистра, Регистра Судоходства Украины, Польского Регистра, Греческого Регистра, INSB и INCLAMAR с различными ограничениями по допускаемому удалению от портов, по допускаемой высоте волны (от 2,5 м до 8,5 м) и по разрешенным районам и сезонам плавания.

К концу 50-х годов усилиями советских конструкторов был создан новый архитектурно-конструктивный тип судов смешанного река-море плавания с «ящичными» трюмами, широким раскрытием палубы, практически без «карманов», с двойным дном и двойными бортами. Суда имели малое стояночное время и прекрасно подходили (и подходят до сих пор) к современным средствам обработки груза в портах. Аналогичные суда на море появились через 20-25 лет (морские сухогрузы до середины 70-х годов сохраняли архаичный вид двухпалубных судов с узкими вырезами люков). Первые СПП проектировались конструкторами речных судов. При этом проектирование шло, как правило, в рамках т.н. «расчетного» метода, что позволило существенно снизить металлоемкость корпуса. В дальнейшем количество проектов неуклонно росло, однако подавляющее большинство отвечало одному и тому же архитектурно-конструктивному типу.

В конце 80-х - начале 90-х годов начался новый этап развития СОРП. Как

и ранее, причины нового всплеска интереса к СОРП носили чисто экономический характер. С одной стороны, началась активная капитализация страны, появился частный судовладелец, с другой, больше прав было делегировано речным пароходствам. Все это происходило на фоне разрушения централизованной системы внешнеэкономической деятельности и резкого дробления партий груза (до 1000...5000 тонн). ССП как нельзя лучше подходили для работы в рамках новых экономических условий - грузоподъемность от 2 до 5 тысяч тонн, малая осадка, «ящичные» трюма и низкая остаточная стоимость. Рост количества СОРП за счет модернизации речных судов был весьма бурным - до сотни единиц в год. Как итог, всего к настоящему времени к СОРП можно отнести более 1200 судов (примеры см. в табл. 3).

Модернизация судов, увеличение класса и района плавания происходила по нескольким направлениям. Широко применялась модернизация в виде конвенционного дооборудования СОРП без корпусных работ. Прочность корпусов обеспечивалась за счет проектных резервов.

С 1989 года, применяя то или иное количество накладных полос (листов) и те или иные разработки, в море были выпущены более 200 СОРП. При этом для обеспечения общей прочности применялись, как правило, накладные полосы шириной до 800 мм, устанавливаемые на длине, соизмеримой с длиной судна. Полосы «привязывались» к продольным комингсам, настилу верхней палубы, верхним листам второго борта, ширстреку, а также к обшивке днища. Изменение момента сопротивления корпуса составляло от 10 до 40%. В табл. 3 к этой категории можно отнести т/х «Юсра» (бывший «Волжский 52») и т/х «Петрозаводск» (бывший «Волжский 39»). Суда «Дмитрий Варварин» и «Юсра» модернизировались по проекту Морского Инженерного Бюро, суда «Петрозаводск» и «Волжский 7» - по проекту ЦКБ «Вымпел».

Размерная модернизация (укорочение) корпуса позволила более, чем 30 СОРП с относительно малым исходным стандартом прочности получить более высокие классы. В табл. 3 к этой категории можно отнести т/х «Волжский 7».

В проектах, имевших высокие продольные комингсы с полками на уровне линии борта, для увеличения эффективного надводного борта применялись решения по «зашивке» бортов - продлению наружной обшивки с набором до полков комингса.

Таблица 3. Характеристики судов типа Волжский в различных версиях

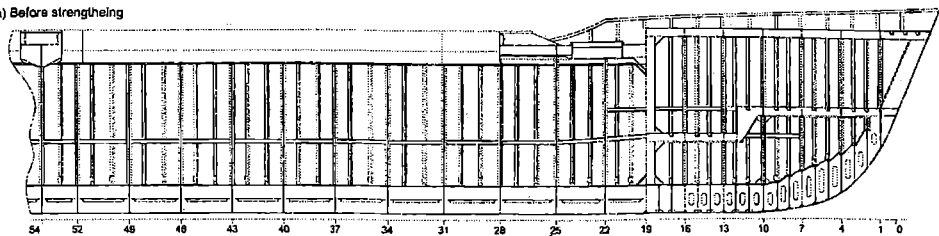
Наименование	Дмитрий Варварин	Юсра	Петрозаводск	Волжский 7	Исходное состояние
Год модернизации	2000	2000	1999	1994	
Длина максимальная, м	138,50	138,50	138,50	104,40	138,30
Длина между перпендикулярами, м	135,00	135,00	135,00	103,80	135,00
Ширина, м	16,50	16,50	16,50	16,50	16,50
Высота борта, м	5,50	5,50	5,50	5,50	5,50
Осадка максимальная, м	3,75	3,20	3,20	3,69	2,89
Дедвейт, т	5375	4402	4178	3709	3800
Объем трюмов, м ³	9358	6411	6342	4403	6411
Вместимость валовая	5087	4103	4103	3070	
Вместимость чистая	2298	1230		1042	
Класс судна РС (PPP)	ПСП	ПСП	М-СП	ПСП	О-пр 2,0
Допускаемая высота волны, м	3,5	3,5	3,5	6,0	2,0

Конверсия речных судов в суда смешанного плавания часто сопровождалась установкой (или увеличением размеров) бака, юта, созданием средней надстройки. Пример подобной модернизации многоцелевого судна проекта 191 из класса PPP «О-пр» в класс РС ПСП приведен на рис. 1.

С 1998 года на ряде проектов начала реализовываться идея автора настоящей статьи о подъеме непрерывного продольного комингса, что позволило при увеличении момента сопротивления корпуса увеличить грузоподъемность и грузовместимость судна. В табл. 3 к этой категории можно отнести т/х «Дмитрий Варварин» (бывший «Волжский 33») – см. мидель-шпангоут модернизированного судна проекта 05074М на рис. 2. К настоящему времени подобные проекты были также разработаны для судов типа «Омский», «Волго-Балт», «Волго-Дон».

При модернизациях корпусов судов решались вопросы не только обеспечения общей прочности, но и устанавливались дополнительные подкрепления для удовлетворения требований РС к местной прочности. Среди них усиления конструкций ледового пояса [6], конструкций носовой оконечности на восприятие ударных нагрузок, днищевых конструкций на восприятие увеличившихся внешних нагрузок, а также для обеспечения местной прочности и устойчивости днищевых и палубных перекрытий танкеров. Пример подобной модернизации судна проекта 21-89 представлен на рис. 3.

a) Before strengthening



b) After strengthening

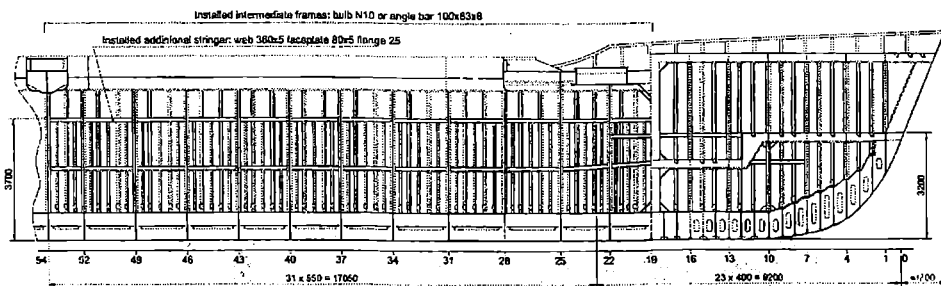


Рис.3. Пример изменения конструкции корпуса судна смешанного плавания при модернизации

В зарубежной практике подобные модернизации были связаны не только с изменениями типа, возможностей и главных размерений судна, но и с назначением новой даты постройки (изменения года постройки). При этом все части судна предъявлялись классификационному обществу на соответствие требованиям правил и международных конвенций по состоянию на новую дату постройки с обеспечением соответствующего уровня надежности.

В отечественной практике с изменением года постройки подобные модернизации практически не проводились.

Исключением является опыт Морского Инженерного Бюро по переоборудованию сухогрузных лихтеров «Дунай - море» класса РС ПСП, оставшихся после прекращения деятельности «Интерлихтера», в несамоходные сухогрузные и наливные баржи типа «Европа-2». Из существовавших лихтеров различных лет постройки (1975-1988 гг.) путем сращивания на Килийском судостроительном заводе было построено более 20 несамоходных барж класса РС В2 для эксплуатации в системе Дунай–Майн–Рейн, а также класса РРР «Р» для реки Волга с годами постройки 1998-2000 – см. фотографии на рис. 4.

Возраст судна определяется с момента получения им документов (подписания прямо-сдаточного акта). С момента закладки киля до получения

документов считается, что судно находится в стадии постройки. При этом под моментом закладки киля подразумевается либо начало постройки, которое можно определить как относящееся к данному судну либо момент, когда масса собранной части корпуса судна составляет не менее 50 тонн или 1% расчетной массы всех материалов корпуса, в зависимости от того, которое из этих значений меньше.



Рис .4. Пример конверсии: из двух существующих лихтеров типа ДМ построена новая наливная баржа (проект Морского Инженерного Бюро)

Следует различать год постройки судна, который указан в классификационном свидетельстве, выдаваемом классификационным обществом и год постройки или существенной модернизации, который указан в конвенционных свидетельствах, выдаваемых администрацией флага или по ее поручению классификационным обществом. Изменить первую дату с формальной точки зрения сложно, изменение второй предусматривается соответствующими положениями международных конвенций и вполне реально, так как конверсия подпадает под определение существенной модернизации. Как показывает специально проведенное автором исследование, именно в таком понимании изменение возраста судна применялось в зарубежной практике.

Кроме того, существует ряд иных процедурных сложностей. Например, как изменить номер ИМО, куда входит дата постройки судна. Возможны разные пути решения этой проблемы, например, формальное списание судна

и последующая его «сборка» из существующих комплектующих.

Другая проблема – как изменить дату выпуска главного двигателя (ГД)? Можно произвести замену ГД, но это очень дорого. Достаточно ли модернизации ГД под существующие требования? Какова роль завода-изготовителя в данном процессе?

Возможно, что будет достаточно капитального ремонта ГД с подведением его под изменившиеся требования международных конвенций без изменения даты выпуска. В мировой практике имеются прецеденты применения в новом судостроении ГД и иных машин и механизмов со списанных судов.

Требуется изучения вопрос об отношении к процедуре конверсии страховых обществ, отработка конкретных положений процедуры предъявления судна классификационному обществу как «нового».

Следует ясно представлять себе, что конверсия никогда не будет сведена к простой корректировке даты постройки судна в судовых документах и является весьма дорогим мероприятием. По нашим оценкам, для судов на отечественных верфях речь будет идти о стоимости порядка 10-30% от стоимости нового судна.

Таким образом, увеличение срока службы отечественных судов может быть осуществлено (см. рис. 5):

- без изменения возраста судна с проведением реновационных технических мероприятий (замена корпусных конструкций) и с получением соответствующих документов от РС (на уровень 1SS или 2SS), что вполне может подойти для судов, не совершающих международные рейсы, включая суда внутреннего плавания;

- за счет конверсии с изменением возраста судна в варианте размерной модернизации без замены технологического оборудования; размерной модернизации с заменой в пределах новой вставки всего технологического оборудования; размерной модернизации с приведением в соответствие с конвенциями всего судового оборудования и механизмов.

Выбор варианта увеличения службы определяется в результате технико-экономического обоснования по каждому объекту, подготовка которого предполагает обследование и обоснования, включая:

- требования, которым должно отвечать судно на дату предъявления;
- классификационный район плавания судна;
- регион плавания судна (страны, порты захода);

- виды перевозимых грузов;
- особые требования, обусловленные особенностями эксплуатации, районом плавания, в том числе национальные требования;
- тип размерной модернизации;
- приведение в соответствие с МК СОЛАС;
- приведение в соответствие с МК МАРПОЛ;
- приведение элементов корпуса в соответствие с требованиями РС;
- приведение судовых механизмов и оборудования в соответствие с требованиями РС;
- приведение судовых систем в соответствие с требованиями РС;
- приведение судового электрооборудования в соответствие с требованиями РС.

Таким образом, очевидно, что конверсия судов представляет вполне реальную альтернативу рынку судостроения, особенно принимая во внимание стоимости нового строительства и финансовые возможности судовладельцев СНГ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бохан С. *Транспорт Украины в 1999 году – состояние критическое* // *Судоходство*. 2000. - № 1-2/2000. - С. 19-20.
2. Заблоцкий В. *Есть ли будущее у рыболовного флота Украины?* // *Судоходство*. –1999. - № 9/1999. - С. 26-27.
3. Драницын С. *Морской флот Российской Федерации: ретроспектива, состояние, перспектива, проблемы* // *Морской флот*. – 2000. - № 1-2. - С. 5-10.
4. Егоров Г.В. *Конверсия судов как один путей сохранения отечественного торгового флота* // *Труды Пятой междунар. конф. «Транспортные перевозки в странах СНГ, Балтии, Европы»*. – Одесса, 2000. - С. 121–125.
5. Egorov G.V. *Application on Formal Safety Assessment for hull modernization of restricted navigation area ship* // *Proc. of Fourteenth Asian Technical Exchange and Advisory Meeting on Marine Structures (TEAM'2000)*. – Vladivostok: Far Eastern State Technical University, 2000. - P. 461–468.
6. Egorov G.V. *Particularities of ensuring strength and reliability of river-sea ship's hulls operated in cold weather regions* // *Proc. of Sixth*



Рис. 5. Возможные пути увеличения срока службы судна

АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ФОРМЫ БЫСТРОХОДНЫХ ОДНОКОРПУСНЫХ ВОДОИЗМЕЩАЮЩИХ СУДОВ (БОВС)

А.О. Канифольский

Ряд различных исторически сложившихся факторов определяет Украину как морское государство. Близкое соседство стран Черноморского и Средиземноморского бассейнов и естественное желание людей сократить время доставки груза и пребывания пассажира в дороге должно стимулировать развитие быстроходных судов. Анализ построенного за последние годы быстроходного флота показывает, что успешно развиваются суда типа «Deer V». Они строятся и эксплуатируются на протяжении ряда лет в Италии, Франции, Японии, Испании, Германии, Норвегии, Китае и предназначаются для перевозки пассажиров и накатной техники (автомобилей, трейлеров). Эти быстроходные однокорпусные водоизмещающие суда (БОВС) работают в переходном режиме и при оптимально выбранной форме корпуса могут встречать сравнительно небольшое сопротивление воды, при движении. Различие сезонных пассажиро- и грузопотоков определяет возможное двойное использование судов. В пик летнего сезона на борту может перевозиться большое количество пассажиров и небольшое количество груза. В зимнее время года, когда пассажиропоток снижается, судно может использоваться в основном для перевозок накатной техники (трейлеры, автомобили) и пассажиров. Развитие судов этого типа представляется перспективным направлением для восстановления флота Украины. В таблице 1 приведены основные характеристики (БОВС).

Для обозначения грани, выше которой судно можно считать скоростным, Международная конвенция по охране человеческой жизни на море SOLAS дает следующее определение:

«Высокоскоростное судно - это судно, способное развивать максимальную скорость (м/с) равную или превышающую

$$v_{\max} = 3,7V^{0,1667}, \quad (1)$$

где V - водоизмещение соответствующее расчетной ватерлинии, м³.

Такую же трактовку дают “Rules for Classification and Construction”, Part 1: Seagoing ships, Chapter 5: High Speed Ships. Правила изданы Германским Ллойдом при участии Бюро Веритас и Итальянского Регистра [1]. Возможен

следующий путь получения формулы (1). Как известно, можно охарактеризовать режим движения судна, подсчитав числа Fr по водоизмещению $Fr_v = \frac{v}{\sqrt{g^3 V}}$, тогда $v = 3,13 Fr_v V^{0,1667}$. Приравняв правые части полученного уравнения и уравнения (1) можно определить $Fr_v = 1,18$. Следовательно, судно можно считать высокоскоростным при $Fr_v \geq 1,18$. Это число лежит в пределах переходного режима движения судна. Проведя расчеты чисел Fr_v и Fr_l для быстроходных однокорпусных судов, можно построить график их зависимости (рис.1) и описать соотношение формулой

$$Fr_l = 0,29 Fr_v + 0,10 \quad (2)$$

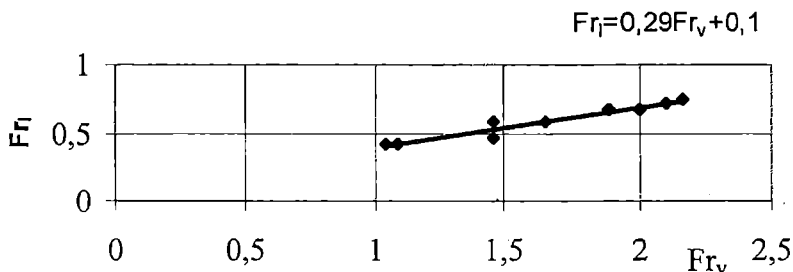


Рис. 1. Зависимость Fr_v от Fr_l

Для величин характерен коэффициент корреляции $r=0,97$, что по теории ошибок Дж. Тейлора [5] оценивается как «высокозначимая» корреляция, для 9 точек.

При проектировании судна важно оценить коэффициент общей полноты судна C_b , так как он связан с ходкостью судна и со стоимостью его постройки. Формулу А.Линдблада, которая приведена в книге Л. М. Ногида [3]

$$C_b = 1,085 - 1,68 Fr_l \quad (3)$$

нельзя использовать для судов с $Fr_l > 0,6$, так как значения коэффициента общей полноты переходят в область отрицательных чисел. Приведенный в этом же источнике ряд Эйра ограничивается $Fr_l = 0,6$. Как следует из таблицы 1, около половины судов имеют $Fr_l > 0,6$. Формула предложенная в книге В.В. Ашика [4] для быстроходных судов

$$C_b = \frac{0,425 \pm 0,025}{Fr_l^{0,25}} \quad (4)$$

Таблица 1. Характеристики БОВС

Название судна	Loa, м	Lpp, м	D, м	B, м	d _м	dwt, т	V _{max} /V _{ном.} , уз.л.	D, т	N, мВт.	L/B	B/d	F _т	F _т	Cb
Проект (университет Ганновера)	-	174,0	11,4	16,0	4,71	1150	-/38	6210	61,8	-	3,4	1,46	0,47	0,46
MDV 3000 Jupiter	145,6	128,6	-	22	3,9	1200	-/40	3900	68,0	5,8	5,6	1,66	0,58	0,35
MDV2000 Neptune	128,0	112,2	12,2	19,4	-	600	42/40	-	42,0	5,8	-	-	0,65	-
Corsair 12000	119,0	-	-	-	-	-	-/36	-	32,4	-	-	-	-	-
MDV	118,0	106,0	11,8	19,4	3,4	-	42/40	2350	53,0	5,5	5,7	1,89	0,67	0,33
Volcan de Tauro	113,45	96,2	10,8	16,5	-	-	40/-	1758	36,0	5,8	-	1,89	0,67	-
Corsair 11500 Gotland	112,5	100,0	-	15,7	2,6	450	40/35	-	28,3	6,4	6,0	-	0,66	-
MDV 1700 Juno	112,0	-	11,0	17,1	3,0	-	44/42	-	30,0	-	5,7	-	-	-
Scatto	107,8	103,0	-	-	-	-	36/-	-	24,0	-	-	-	0,58	-
Corsica Express	-	103,5	-	14,5	2,12	-	-/37	-	24,0	7,1	6,8	-	0,60	-
Guizzo	101,8	85,3	9,5	14,5	2,05	231,5	42/40	1004,5	28,0	5,9	7,1	2,16	0,75	0,39
Unicom	-	100,6	-	14,9	-	-	42,4/-	-	26,0	6,7	-	-	0,69	-
Supercat	100,0	88,0	10,7	17,1	2,75	350	40/38	-	27,5	5,1	6,2	-	0,70	-
MDV1400	96,0	-	10,5	16,2	2,9	400	37/35	-	26,0	-	5,6	-	-	-
Albazin	96,2	-	-	14,6	2,08	-	-/36	774	21,6	-	7,0	2,16	-	-
Isola di Stromboli	95,0	86,5	10,3	16,8	2,55	400	28/-	-	15,6	5,2	6,6	-	0,49	-
Pegasus One	95,0	82	-	16	2,7	400	40/36	950	24,0	5,1	5,9	2,1	0,72	-
Kattegat	95,0	-	-	-	-	350	-/35	-	23,2	-	-	-	-	-
Isola di Capri	70,9	64,0	8,6	12,4	2,45	200	35/29	625	9,4	5,2	5,1	-	0,72	0,31
Carib Star	40,23	35,05	-	9,14	1,91	170	21/-	-	-	3,8	4,8	1,46	0,58	0,27

также ограничивается диапазоном $Fr_1=0,3-0,6$. На (рис.2) показана зависимость C_b от Fr_1 , в диапазоне Fr_1 от 0,4 до 0,75. В диаграмму включены данные, которые приводят В.В. Ашик [4], Л.М. Ногид [3] и Б.З. Леви [2]. Множество точек обработано с помощью метода наименьших квадратов. Получена линейная зависимость двух величин с коэффициентом корреляции $r=-0,52$, что характеризуется как «значимая» корреляция для 17 точек [5]. В итоге получена формула, по которой можно оценить коэффициент общей полноты, для судов, работающих в режиме $0,4 \leq Fr_1 \leq 0,75$

$$C_b = 0,66 - 0,42Fr_1. \quad (5)$$

В вопросах обеспечения ходкости и управляемости судов большую роль играет значение отношения длины судна L к ширине B . Проведя аппроксимацию зависимости L/B от длины L (рис.3) получим формулу

$$\frac{L}{B} = 0,03L + 3,3 \quad (6)$$

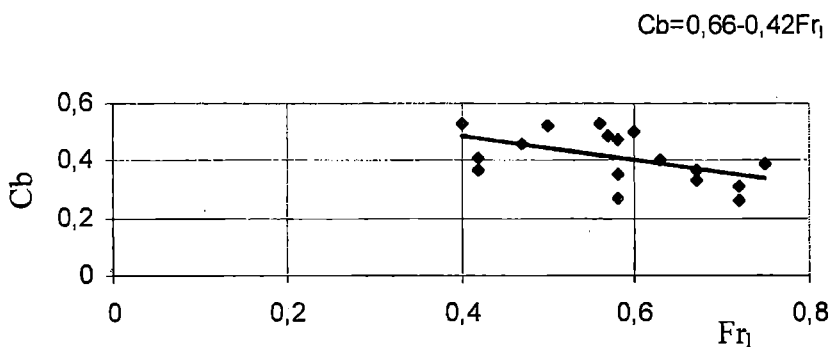


Рис. 2. Зависимость C_b от Fr_1

$$L/B=0,03L+3,3$$

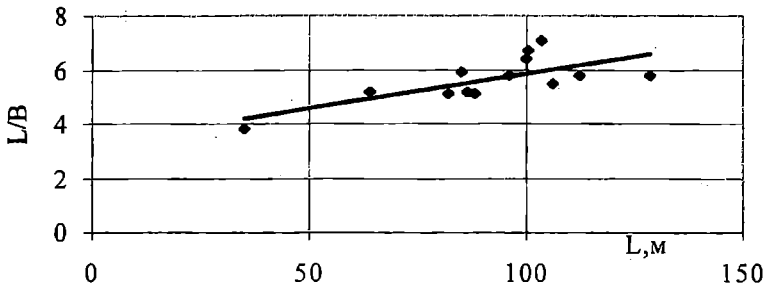


Рис. 3. Зависимость L/B от L

Коэффициент корреляции для этих величин $r=0,71$, а качественная оценка – «высокозначимая» корреляция для 14 точек [5]. Формула получена на основании данных по БОВС, предназначенных для перевозок пассажиров и накатной техники.

Для того, чтобы обеспечить оптимальные ходовые и мореходные качества судна, следует выбрать рациональную форму носовой и кормовой оконечностей. В работе [4] отмечена необходимость наличия минимального угла между диаметральной плоскостью и касательной к ватерлинии, так как в области максимальных давлений, где носовая ходовая волна имеет наибольшую высоту, составляющая давления, направленная вдоль диаметральной плоскости, образует существенную часть волнового сопротивления. Величина угла заострения носовой ветви КВЛ на один борт, по рекомендациям Л.М.Ногида [3], на относительных скоростях $Fr_1 > 0,35$ составляет $9-10^\circ$, а рекомендуемая форма – прямая. Б.З. Леви [2] также отмечает, что для режима движения с относительной скоростью от $Fr_1=0,32$ до $Fr_1=0,6$ форма КВЛ должна приближаться к прямолинейной а угол входа этой ватерлинии α'' желательно принимать в пределах $10-14^\circ$ на один борт. У построенных быстроходных судов переходного режима величина этого угла колеблется от 10° до 13° , а форма от умеренно вогнутой до прямой. Воспользовавшись работой В.Г. Власова [6], о вычислении площадей ограниченных кривыми, можно выбрать несколько кривых, близких по форме к КВЛ быстроходных судов. Кривые описываются функциями $y_1 = \frac{B}{4} + \frac{B}{4} \cos \frac{2\pi x}{L}$ и $y_2 = \frac{B}{2} \cos \frac{\pi x}{L}$. При подстановке в эти формулы значений L и B связанных соотношением $L/B=5,5-7,0$ угол входа КВЛ для первой кривой $\alpha'' = 4-5^\circ$ (форма кривой умеренно вогнутая), для второй - $\alpha'' = 12-15^\circ$ (форма прямая). Значение отношения

длины к ширине L/B выбиралось по данным испытаний проведенных Клементом и Блаунтом. При таких соотношениях L и B в переходном режиме судно имеет наименьшее сопротивление воды движению. Данные опытового бассейна ЦНИИ А.Н. Крылова также свидетельствуют о том, что для переходного режима движения выгоднее корпуса с большим значением относительной длины. Величина L/B у судов, построенных для работы в этом режиме лежит в пределах 5,1-7,1. В [6] при вычислении площадей и коэффициентов полноты ватерлиний предполагается, что ветви ватерлиний симметричны относительно оси Y . БОВС имеют транцевую корму и очертания кормовых ветвей ватерлиний близкие к прямоугольным и их можно описать функцией типа $y=B/2$. Такая форма ВЛ выбирается, исходя из соображений проектирования больших площадей грузовых палуб и упрощения технологии постройки. По данным испытаний опытового бассейна ЦНИИ им. академика А.Н. Крылова, в переходном режиме, при $Fr_{\gamma} \leq 3,0$, сужение кормы не оказывает существенного влияния на сопротивление. Поэтому площадь S и коэффициент полноты $K_{ВЛ}$ а будут для первого и второго случая, соответственно

$$S_1 = 2 \int_{-L/2}^{+L/2} y dx = 0,75BL; \quad (7)$$

$$S_2 = 2 \int_{-L/2}^{+L/2} y dx = 0,82BL. \quad (8)$$

Следовательно, значения a можно принимать в пределах 0,75-0,82.

Далее можно вычислить моменты инерции I_x ватерлиний:

$$I_{x1} = \frac{2}{3} \int_{-L/2}^{+L/2} y^3 dx = 0,055B^3L; \quad (9)$$

$$I_{x2} = \frac{2}{3} \int_{-L/2}^{+L/2} y^3 dx = 0,06B^3L. \quad (10)$$

Подставив полученные значения I_x в формулу для метацентрического радиуса

$$r_1 = \frac{I_{x1}}{V} = \frac{0,055B^3L}{CbLBd} = \frac{0,055B^2}{Cbd}; \quad (11)$$

$$r_2 = \frac{0,06B^2}{Cbd}. \quad (12)$$

Как известно, уменьшение угла α_n° увеличивает общую заостренность носовой оконечности судна и, следовательно, уменьшает значение коэффициента продольной остроты φ . Общая заостренность судна растет с увеличением F_{r1} . Но процесс уменьшения угла α_n° имеет предел. Это уменьшение может привести к образованию резко впалых ватерлиний, форма которых неблагоприятно сказывается на ходкости судна, что установлено при испытании серии моделей Д. Тейлора [4]. Рекомендации по выбору φ , которые приводят различные авторы (Тейлор, Саундерс, Бетс) [3] сходятся в одном: при $F_{r1} > 0,45$, значения коэффициента продольной полноты, соответствующие минимуму сопротивления лежат в пределах 0,62-0,65. Как было отмечено выше для судов данного типа оптимальными являются кормовые ВЛ описанные уравнением $y=B/2$. При такой форме ветвей коэффициент продольной остроты кормовой оконечности $\varphi_k=1$.

$$\varphi = \frac{\varphi_n \beta B d L_n + \varphi_k \beta B d L_k}{\beta B d L}; \quad (13)$$

$$\varphi_n = 2\varphi - 1. \quad (14)$$

Приведенные выше формулы и зависимости предлагается использовать при проектировании быстроходных однокорпусных водоизмещающих судов (БОВС) на начальных стадиях разработки проекта.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Rules for Classification and Construction. I - Ship Technology. Part 1 – seagoing ships. Chapter 5 – High Speed Craft. 1996. (Germanischer Lloyd).*
2. Леви Б.З. *Пассажирские суда прибрежного плавания. Л.: Судостроение, 1975. 318 с.*
3. Ногид Л.М. *Проектирование формы судна и построение теоретического чертежа. Л.: Судпромгиз, 1962. 242 с.*
4. Ашик В.В. *Проектирование судов. Л.: Судостроение, 1985. 317 с.*
5. Тейлор Дж. *Введение в теорию ошибок. М.: Мир, 1985. 272 с.*
6. Семенов-Тянь-Шаньский В.В. *Статика и динамика корабля. Л.: Судпромгиз, 1960. 576 с.*

ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

УДК 621.873.254(045)

ГРЕЙФЕРЫ И КАНАТНО-БЛОЧНЫЕ СИСТЕМЫ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

А.М. Ясиновский

В новой концепции реформирования транспортного сектора Украины одним из приоритетных направлений развития технических средств транспортировки наиболее массовых навалочно-насыпных грузов следует считать грейферостроение. Украина всегда занимала ведущее место в развитии этого направления подъемно-транспортного машиностроения и здесь для этого сделано гораздо больше, чем в других странах СНГ [1].

Грейферные краны до настоящего времени продолжают оставаться важнейшим средством перегрузки сыпучих грузов на транспорте. Постройка специализированных перегрузочных комплексов помогает справиться с притоком грузопотока, но не приводит к сокращению действующего парка грейферных кранов.

Современные требования в условиях рынка, предъявляемые к конструкции грейфера - лучшее использование грузоподъемности крана за счет снижения собственной массы и увеличения емкости грейфера; повышение прочности конструкции за счет применения более качественных конструкционных материалов; снижение трудоемкости и стоимости изготовления, обслуживания и ремонтов; соответствие современному мировому техническому уровню. Одним из путей улучшения этих показателей качества и параметров грейферов является подготовка новых технических решений. В концепции такого совершенствования и развития ведущее место будут занимать конструкции с регулируемыми параметрами [2, 3], что нашло отражение во введении этого класса грейферов в действующий стандарт [4]. Катализатором этого расширения классификации канатных грейферов явились анализируемые далее новые идеи совершенствования конструкций, которые в дальнейшем удалось защитить авторскими свидетельствами и патентами России и Украины [5-12], а также исследования по использованию ряда материалов (высокопрочных конструкционных пластмасс и металлов) в элементах системы «кран –

грейфер», подверженной широкому спектру неблагоприятных воздействий.

Предлагается канатный грейфер нового класса, в котором могут изменяться такие параметры как размах, кратность полиспаста, ряд других характеристик, следовательно, усилия на режущих кромках челюстей и объем зачерпнутого груза. Это расширяет эксплуатационные возможности грейфера за счет оригинальной конструкции челюстей с многофункциональным узлом для взаимного шарнирного соединения. Применение такой конструкции, например на водном транспорте, позволяет высвободить два грейфера подгребающего и обычного типов с возможностью более широкого использования на различных грузах, в том числе на смерзшихся, соблюдая принцип узкой специализации в рамках одной модели (рис. 1, 2). Использование грейфера позволяет значительно снизить собственную массу конструкции, повысить производительность крана и эффективность грейферных работ.

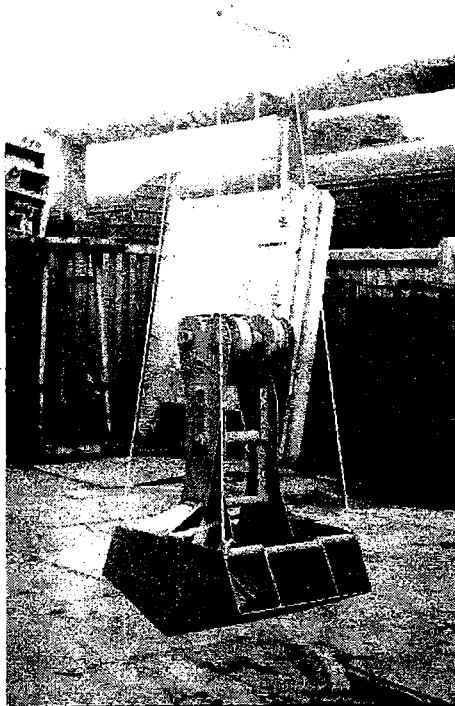


Рис. 1

К грейферам такого же типа целесообразно отнести другой универсальный канатный грейфер для перегрузки металллома, крупнокусковой руды и волокнистых грузов, снабженный пространственной несимметричной рычаж-

но-полиспастной регулируемой системой оригинальной конструкции, позволяющей значительно увеличить замыкающие усилия еще в начальной стадии смыкания челюстей.

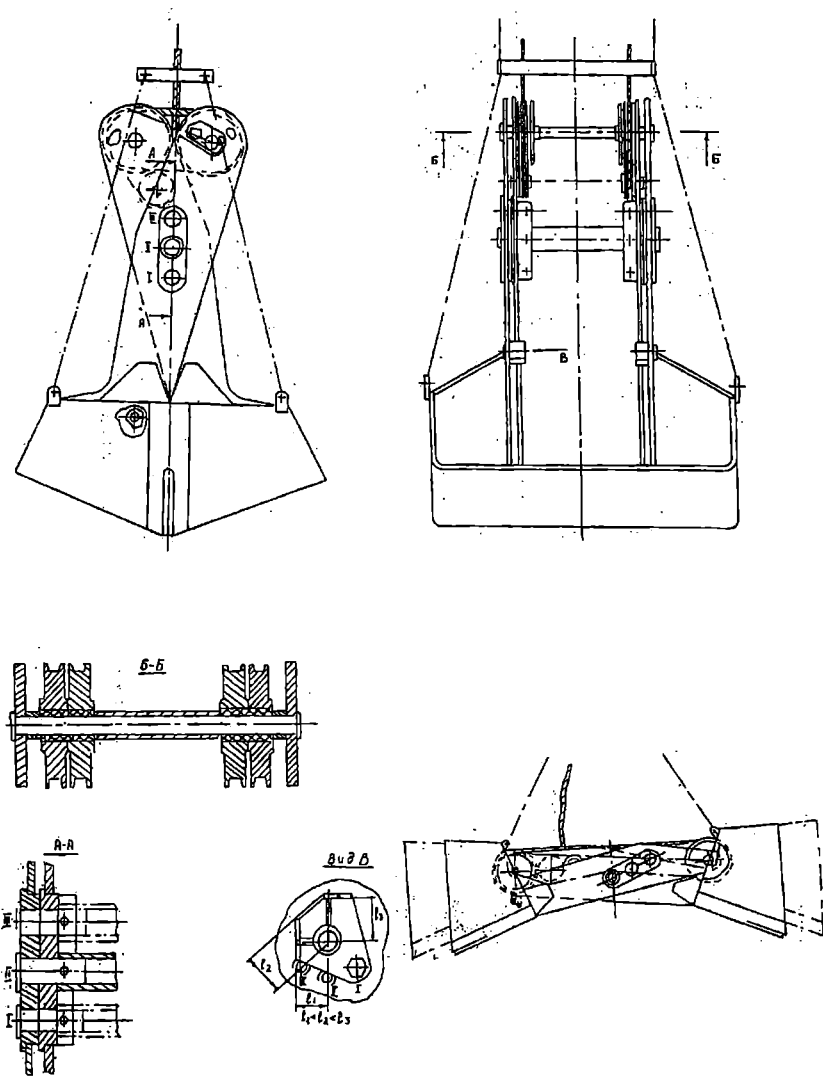


Рис. 2

Предлагаются также два типа канатных грейферов с дополнительными устройствами механического или пневматического действия, которые срабатывают за счет аккумулируемой энергии от раскрытия грейфера при высыпании груза и увеличивают усилие закрытия челюстей в конечной стадии процесса зачерпывания груза, что позволит уменьшить традиционную массу

грейфера и повысить его зачерпывающую способность. Другое направление развития представляет серия канатных грейферов с отделяемыми блочными обоймами, что дает возможность относительно быстрой замены одного грейфера на другой, отличающийся по объему челюстей или конструкцией без перепасовки замыкающих канатов на мостовых или козловых кранах грузоподъемностью 16-20 тонн. Здесь появляются возможности разворота грейферов на 90 градусов относительно подкрановых и железнодорожных путей, а также переоборудования единой грейферной тележки крана дополнительно в крюковую или магнитную с использованием для подъема поддерживающих канатов. Близко примыкают к такому типу грейферы для порталных, а также других кранов со специальными устройствами для их разворота относительно подкранового пути в зависимости от взаимного расположения крана и вагона, когда возникает необходимость в продольном или поперечном раскрытии грейфера. Устройство имеет навитые на соответствующие барабаны поддерживающие и замыкающие канаты, огибающие расположенные на верхней траверсе грейфера отклоняющие блоки, а также содержит четыре стойки, соединяемые концами с верхней траверсой грейфера. Устройство также имеет двутавровую балку, на которой под углом 45 градусов установлены блоки для огибания и отклонения замыкающих канатов при развороте грейфера, и скобы для закрепления на них поддерживающих канатов, которые расположены по концам двутавровой балки. При этом стойки попарно закреплены на осях скоб. Под двутавровой балкой на кронштейнах установлены также два блока под углом 45 градусов к ее продольной оси на длине, равной расстоянию между замыкающими канатами. Переориентация грейфера – довольно несложная вспомогательная операция. Без описанного устройства может быть какое-то одно раскрытие грейфера: вдоль или поперек пути и система будет нерегулируемой.

Предлагается вращающийся клюз (направляющая втулка для канатов), содержащий капролановую втулку, способную вращаться в нескольких плоскостях одновременно. Между втулкой и разъемным корпусом установлены шариковые опоры. При возвратно-поступательном движении замыкающего каната под действием силы сопротивления, возникающей между тросом при его перегибе и втулкой, а также благодаря винтовой свивке прядей в канате происходит вращение клюза на шариковой опоре и изменение угла его расположения относительно корпуса в зависимости от угла наклона грейфера на

штабеле. Это приводит к значительному повышению долговечности всех названных элементов системы, а также к снижению коэффициента динамичности при отрыве грейфера от штабеля.

Одним из путей решения поставленных задач по расширению эксплуатационных возможностей грейферов является использование в шарнирных соединениях, блоках грейферного полиспафта и всей канатно-блочной конструкции системы «кран–грейфер» высокопрочных конструкционных пластмасс [13, 14]. Эти материалы находили все более широкое применение в различных отраслях промышленности, однако в подъемно-транспортном машиностроении элементы из неметаллических материалов практически не использовались, хотя и обладают рядом преимуществ.

Тяжелые условия эксплуатации кранов, особенно при перегрузке навалочных грузов при широком спектре механических воздействий, обуславливают высокую напряженность металлоконструкции стрелы, решающим образом влияющую на эксплуатационные показатели кранов, повышенный износ канатно-блочной системы.

Капролон при работе в паре с металлом характеризуется невысоким коэффициентом трения, высокой износостойкостью, химической инертностью. Он снижает распространение упругих волн, вибрацию и коэффициент динамичности, способствует лучшему демпфированию колебаний металлоконструкции стрелы, а также благодаря небольшому модулю упругости позволяет получить более низкие удельные нагрузки на контактируемых поверхностях. Этот материал легок, прост и нетрудоемок при механической обработке, лишен коррозии, в парах трения не требует регулярной смазки. При замене металлических блоков капролоновыми значительно снижается масса канатно-блочной системы и, как следствие этого, опрокидывающий момент на максимальном вылете при уменьшении нагруженности стрелы. В ОИИМФе (ныне ОГМУ) впервые были разработаны капролоновые блоки стреловых систем порталных кранов [13], а также для строительных башенных кранов. Заготовки для этих блоков были отлиты по технологии ЮЖНИИМФа на их опытном предприятии и обработаны на тяжелых станках СРЗ-1 (рис. 3), а затем установлены на порталных кранах (рис. 4, 5, 6) и башенных (рис. 7, 8). Способность воспринимать высокие удельные нагрузки (от 1 до 3 Мпа) без смазочного материала, высокая работоспособность при трении в абразивной среде, малая степень воздействия на поверхность оси позволили применить

капролоновые блоки на стреловых системах порталных кранов типа «Ганц», «Альбатрос», «Сокол» в Одесском, Ильичевском, Мурманском и порту Термез, а также на башенных в Ленинграде и использовать их в различных климатических условиях на ряде грузов по вариантам грузовых работ вагон–склад, склад–вагон, судно–склад, судно–вагон, строительная площадка–объект. Эти блоки прошли успешные испытания и, как было отмечено специальной комиссией, соответствуют мировому уровню. Особо просматривалось увеличение долговечности использования стальных канатов и снижение трудоемкости сборки и разборки узлов в несколько раз.



Рис. 3

В работе [13] приведена методика прогнозирования износостойкости блоков с использованием безразмерной величины линейной интенсивности изнашивания, а также решение вопроса унификации капролоновых блоков для названных типов порталных кранов.

Этот положительный опыт нашел отражение при создании подшипников скольжения для перегрузочной техники, предназначенной для работы в портах Сирии.

На базе совместных исследований, выполненных в системе морского флота [14], опытная партия грейферов с капролоновыми канатными блоками

и шарнирными втулками прошла длительные всесторонние эксплуатационные испытания в двадцати морских портах на различных канатных грейферах для кранов грузоподъемностью 10 и 16 тонн на многих грузах, главным образом, углях, рудах, зерне, минерально-строительных материалах, магнетите, суперфосфате и др. в различных климатических условиях таких портов как Одесский, Ильичевский, а также расположенных в зоне холодного климата с круглогодичной навигацией (Мурманский, Архангельский, Магаданский); сезонной – Анадырский, в других климатических зонах.

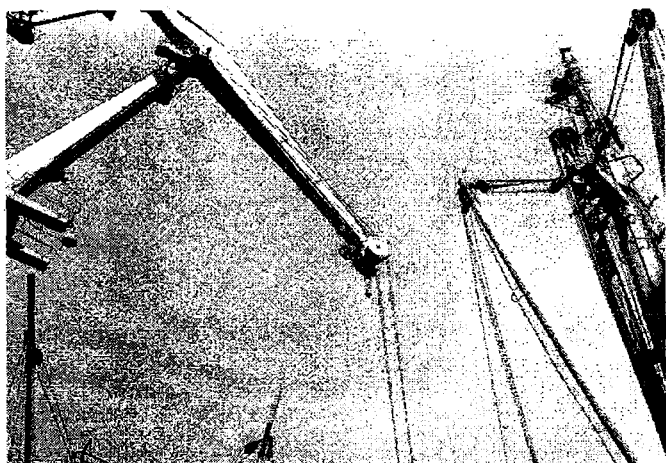


Рис. 4

Были разработаны различные варианты конструкции узлов трения блоков грейферного полиспаста: корпус блока на подшипнике скольжения из того же материала, корпус блока на подшипнике качения, цельная конструкция блока с совмещенным узлом трения из полиамида 6 блочного - капролона В, а также втулки шести типоразмеров для всех узлов грейфера [14, 15]. Для названных деталей опытной проверке и исследованиям [16] подвергнуты, главным образом, такие материалы как полиамид 6 блочный (капролон В), капролон модифицированный 5% графита, полиамид 12 (ПА12) и некоторые другие, сравнительные характеристики которых и рекомендации для изготовления и расчета подшипников и блоков отражены в [14, 15].

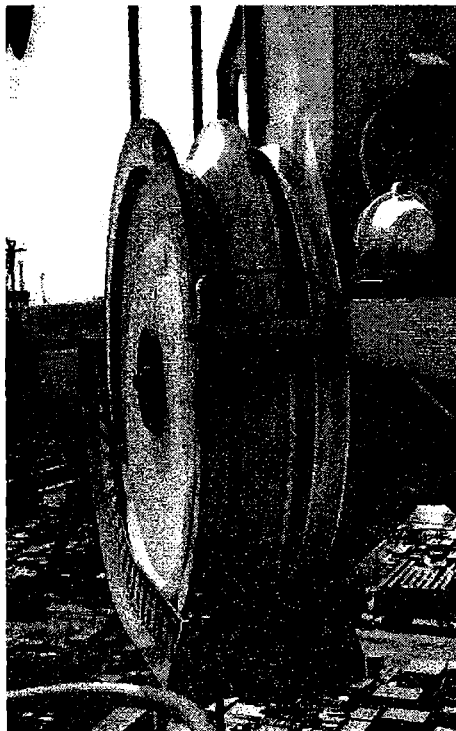


Рис. 5

Подобные технические решения в практике грейферостроения стран постсоветского пространства реализовывались впервые. Поэтому объективное заключение о работоспособности можно было получить лишь в результате натурных испытаний экспериментальных образцов, а затем и эксплуатационных. Задача усложнялась изучением абразивного и усталостного износа в зонах фактического касания узлов трения при наличии или отсутствии смазки; не было ясно влияние внешней среды и грузов на физико-механические характеристики материалов, из которых изготовлены узлы, связанные с жестким требованием сохранения стабильности характеристик в широком диапазоне климатических температур в течение всего эксплуатационного периода [16, 17], что нашло отражение также в разработанных нами стандартах [4, 15, 18].

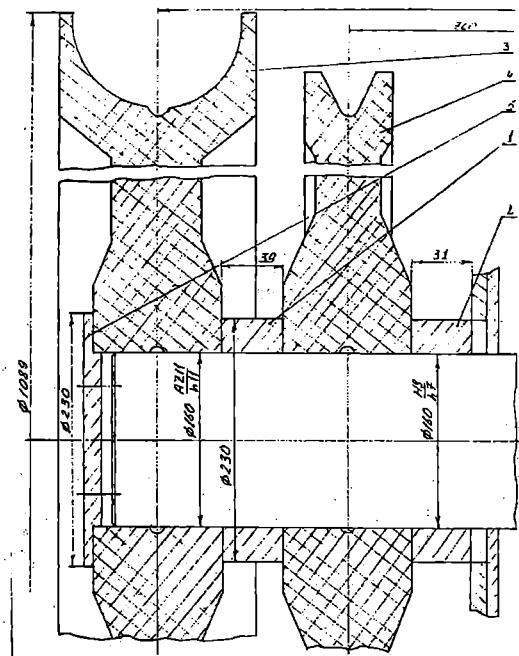


Рис. 6

Там отмечено, что элементы конструкций грейферов, предназначенных для работы с крупнокусковыми, смерзшимися грузами, а также для работы в условиях низких температур, изготавливают из материалов, обладающих более высокой демпфирующей способностью с учетом ее стабильности при снижении температуры; для втулок шарниров и подшипников скольжения канатных блоков используют металлополимеры, порошковые материалы, синтетические материалы (полукарбонаты, фторопласты, конструкционные норпласты на основе фторлоновых волокон). Даны также параметры профиля обода блока из синтетических материалов. При проведении всесторонних длительных эксплуатационных испытаний систематически контролировались величины износа различных элементов. В процессе сопоставления различных конструктивных вариантов использованы безразмерные характеристики изнашивания. Было установлено, что применение синтетических изделий существенно снижает материалоемкость грейферов (от 2 до 8 процентов), уменьшает количество ремонтов, а также трудоемкость технических обслуживаний и ремонтов. Долговечность пар скольжения и ручьев канатных блоков превосходит долговечность соответствующих узлов из металлических материалов не менее чем в три раза. Применение капроновых втулок в узлах

трения (шарнирах, блоках) в 2-10 раз сокращает время на сборку и разборку узла [3].

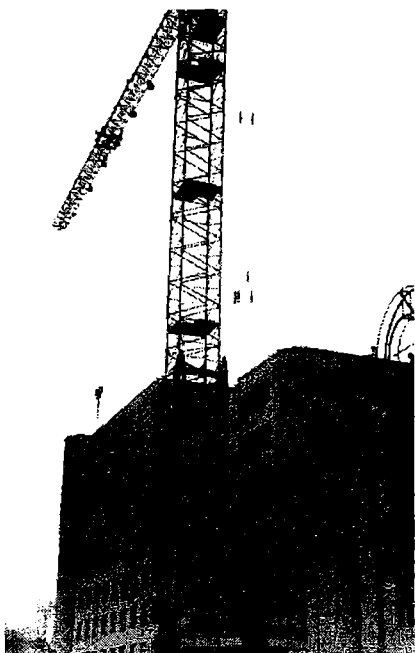


Рис. 7

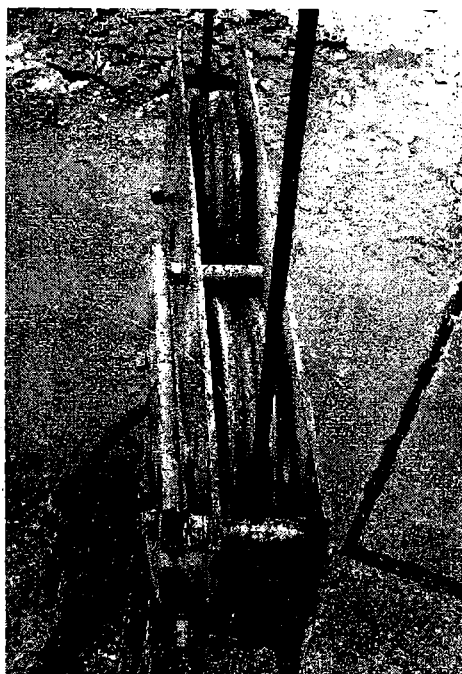


Рис. 8

Проектируя грейферы нового поколения, рассмотренные идеи можно внедрять в отдельности или синтезировать их в различных сочетаниях по модульному принципу, создавая тем самым конструкции более высокого функционального и технического уровня. При возрождении промышленности это будет способствовать реализации конкурентно-способной продукции на рынках постсоветского пространства и сохранению за Украиной высокого рейтинга в развитии грейферостроения.

ЛИТЕРАТУРА

- 1. Ясиновский А.М. Пути развития грейферостроения Украины // Вестник ИА Украины.-Киев-Харьков: Изд. ИАУ №2.1997.-С. 22-24.*
- 2. Ясиновский А.М. Основы теории и направления развития нового класса грейферов с регулируемыми параметрами//Новое в подъемно-транспортной технике.-М.: Изд. МГТУ им. Баумана, 1994.-С. 48.*
- 3. Ясиновский А.М., Березин В.Н. Новый Государственный стандарт*

- на грейферы канатные// Исследования крановых механизмов и металлоконструкций.- М.: Изд. ВНИИПТМАШ, 1988.-С. 30-36.
4. ГОСТ 24599-87. Грейферы канатные для навалочных грузов. Общие технические условия. - М.: Изд-во Стандартов, 1987.- 32 с. Введ. 01.01.89 (рук. разработки Ясиновский А.М.).
 5. АС 1303536 СССР, кл. В 66 с3/16. Грейфер/Ясиновский А.М., Агеев И.П., Слива В.П. (СССР).- №3753662/27-11; Заявлено 15.06.84; опубл. 15.04.87; Бюл. №14, 1987.
 6. АС 1685855 СССР, кл. В66с3/12. Ключ канатного грейфера/ Ясиновский А.М., Ефименко С.И. (СССР).- №4265489/11; Заявлено 19.06.87; опубл. 23.10.91; Бюл. №39, 1991.
 7. АС 1687562 СССР, кл. В66с3/12. Канатный грейфер/Ясиновский А.М., Агеев И.П. (СССР).- №4769575/11; заявлено 31.10.89; опубл. 30.10.91; Бюл. №40, 1991.
 8. АС 1791 339 СССР, кл. В66с3/16. Грейфер для навалочных грузов/ Ясиновский А.М. и др. (СССР).- №4663111/11; заявлено 15.03.89; опубл. 30.01.93; Бюл. №4, 1993.
 9. Патент 93006254 Украины, кл. В66С3/12, В66С3/08. Канатный грейфер/Ясиновский А.М., Моисеенко Д.В. (Украина).- №В3Б06848/3/357; заявлено 10.11.93; Выдан документ 15.03.1995.
 10. Патент 2057704 Российской Федерации, кл. В66С3/12. Грейфер для сыпучих грузов/ Ясиновский А.М., Мартынов О.С., Курочкин Л.Я. (Украина).- №5046257/11; заявлено 08.06.92; опубл. 10.04.96; Бюл. №10, 1996.
 11. Патент 2113395 Российской Федерации, кл. В66С3/12. Устройство для разворота канатных грейферов/ Ясиновский А.М., Демченко А.В. (Украина).- №5030620/28; заявлено 23.07.91.; опубл. 20.06.98; Бюл. №17, 1998.
 12. Jasinovsky A.M., Seaport rope grabs - omeitackles deadweight pajload challenge // International Bulk Journal. October, 1990. England. P.65.
 13. Ясиновский А.М., Демченко А.В. Капроновые блоки стрелочных систем порталных кранов// Передовой производственный опыт и научно-технические достижения в тяжелом машиностроении. Сб. информационный ЦНИИТЭИТЯЖМАШа СССР. Серия 9. Вып. 11.- М.: Изд. МТМСССР. 1990.- С. 45-48.

14. Ясиновский А.М. и др. Узлы трения и детали из синтетических материалов канатных грейферов// Вопросы проектирования и эксплуатации инженерных сооружений и оборудования портов. Сб. научн. тр. ОИИМФа.- М.: В/О «Мортехинформреклама», 1986. - С. 123-127.
15. РД31.46.07-87. Грейферы канатные для навалочных грузов. Типовые расчеты на прочность. Методика.-М.:В/О «Мортехинформреклама»,1987.- 144 с. Введ. 01.01.88 (рук. разработки Ясиновский А.М.).
- 16.Ясиновский А.М. Оценка эксплуатационных качеств металлоконструкций ПТМ для условий морских портов Крайнего Севера.- М.: В/О «Мортехинформреклама», 1989.- 48 с.
17. Ясиновский А.М., Яковлев А.П., Быковский А.И. Демпфирующие свойства некоторых сталей при пониженных температурах // Труды АН УССР.- Киев: Наукова думка. 1985.- С. 175-179 (ИПП АН УССР).
- 18.РД31.44.23-85. Рекомендации по эксплуатации портовых кранов в условиях Севера. - М.: В/О «Мортехинформреклама», 1985.- 82 с. Введ. 01.01.86. (рук. разработки Ясиновский А.М.).

ПРОБЛЕМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ПОРТОВЫХ ПЕРЕГРУЗОЧНЫХ КОМПЛЕКСОВ

Н.Ф. Зубко, М.Я. Постан, Т.Е. Корниец

Современный портовый перегрузочный комплекс (ППК) представляет собой сложную и дорогостоящую производственно-техническую систему, вывод которой из эксплуатации вследствие внезапных отказов или неэффективное использование приводит к значительным экономическим потерям. Функционирование этой системы происходит в условиях воздействия большого числа случайных факторов, таких как колебания моментов поступления транспортных средств (судов, железнодорожных составов, автомобилей) и их параметров, вида и состояния грузов, погодных условий, технического состояния перегрузочного оборудования и причальных сооружений. Обеспечение достаточно высокого уровня надежности работы всех основных технических элементов ППК является необходимым условием эффективной работы порта в целом. Успешное решение этой проблемы может быть достигнуто только на основе четкого определения понятия эксплуатационная надежность ППК как единого объекта, определения ведущего критерия этой надежности и метода его оценки.

Применительно к рассматриваемому объекту ведущим критерием эксплуатационной надежности является его работоспособность, определяемая как работоспособное состояние всех подсистем, обуславливающих номинальную или минимально допустимую производительность ППК в течение заданного периода выполнения производственного задания. При этом отказ одной из подсистем не означает отказ ППК в целом, если его производительность не становится ниже допустимой. Такое событие рассматривается как частичный отказ, предельный уровень которого определяется исходя из экономических показателей. ППК как сложная производственно-техническая система состоит из многих разнородных подсистем и понятие эксплуатационная надежность в данном случае имеет двоякий смысл. С одной стороны, это

понятие отражает свойства технических подсистем (системы электроснабжения, причальных сооружений, перегрузочного оборудования, системы централизованного управления и т.п.) при изменяющихся условиях их эксплуатации, а с другой – свойства организационно-управленческих подсистем, когда отсутствие какого-либо звена в технологической цепи перемещения груза (смежного вида транспорта, свободной складской ёмкости, соответствующей документации на груз и т. п.) отождествляется с отказом ППК. В первом случае естественно говорить о техническом, а во-втором – о технологическом отказе. Следовательно, рассматриваемый термин предопределяет относительно ППК влияние на количественные показатели надежности как режимов эксплуатации технических подсистем, так и организационно-технологических факторов.

Количественный показатель ведущего критерия эксплуатационной надежности–работоспособности должен выбираться в зависимости от вида решаемой задачи. Для задач оперативного сменно-суточного планирования – это вероятность безотказной работы в течение планового времени выполнения задания. При этом следует различать вероятность безотказной работы нового объекта (или сразу же после его полного восстановления) и вероятность безотказной работы за остаточную плановую наработку, т.е. после того, как он уже отработал определенный период и остался работоспособным к началу выполнения задания. Для задач перспективного планирования в качестве количественной оценки ведущего критерия следует принимать коэффициент готовности – вероятность застать объект в работоспособном состоянии в любой момент времени за исключением периодов плановых ремонтов. Этот коэффициент можно интерпретировать также как долю времени, в течение которого объект находится в работоспособном состоянии между плановыми ремонтами, т.е. значение коэффициента готовности определяет среднюю суммарную наработку системы за рассматриваемый период эксплуатации.

Независимо от вида количественной оценки необходимо четко обозначить предельное состояние ППК в смысле работоспособности и, следовательно, установить допустимый уровень отказа системы, который называют также уровнем отключения системы. В общем случае уровень отказа системы определяется отношением числа элементов, находящихся в состоянии отказа к общему числу элементов, составляющих эту систему. Уровень отключения устанавливает число отказавших элементов, при котором рабочие

параметры системы выходят за установленные пределы. Учитывая существенное различие функций подсистем ППК, уровень его отказа целесообразно оценивать значением его производительности или экономической эффективности с учетом вида решаемой задачи. Зависимость этих показателей работы ППК от состояния его подсистем (состояния каждой перегрузочной машины, наличия складских емкостей, смежных видов транспорта, качества информационного обеспечения и т.п.) нетрудно выразить в явной форме на основе анализа функциональной структуры комплекса и тем самым однозначно определить комбинации состояний (работоспособное состояние – отказ), означающие эксплуатационный отказ. Существенные трудности возникают в процессе количественной оценки показателей эксплуатационной надежности и, особенно, при определении их оптимальных значений для заданных условий эксплуатации ППК.

Для вычисления вероятности безотказной работы за плановое время и коэффициента готовности ППК необходима разработка математической модели функционирования ППК с помощью аналитических вероятностных методов либо методами статистического моделирования на ЭВМ. При этом следует учитывать, что определяющим условием, формирующим эксплуатационный режим работы всех подсистем ППК, является процесс взаимодействия двух или более транспортных потоков. Существенным моментом в оценке эксплуатационной надежности ППК является то, что она зависит от ряда управляемых параметров (например, числа резервных машин, возможности оперативного изменения схемы движения и размещения груза при отказе одной из подсистем и т.п.), которые могут выбираться из заданного множества значений. Поэтому эксплуатационная надежность – управляемая величина. Ее показатели, заложенные при проектировании, поддерживаются на заданном уровне, а иногда, за счет организационно-технических мероприятий, и повышаются в процессе эксплуатации. Последнее замечание достаточно характерно для портов, хотя и связано обычно с большими дополнительными затратами. Основные причины – нестабильность параметров грузопотока, вынуждающая изменять технологические схемы применительно к новым условиям и отсутствие методики прогнозирования значений показателей эксплуатационной надежности ППК. Заметим, что существующими нормами проектирования ППК показатели эксплуатационной надежности его как системы не регламентированы вообще, не говоря уже об оптималь-

ных их значениях. Поэтому, учитывая достаточно высокую стоимость обеспечения требуемого уровня надежности, с целью снижения стоимости проекта, его разработчики не рассматривают этот вопрос вообще или ограничиваются общими положениями. Как следствие, во многих случаях реальные результаты работы комплекса существенно хуже проектных даже в расчетных условиях эксплуатации.

Необходимость решения задач оперативного планирования работы комплекса возникает в процессе эксплуатации применительно к сложившемуся состоянию его подсистем. Типичной задачей этого класса является оценка вероятности обработки объекта (судна, состава железнодорожных вагонов, склада) за плановое время. Функции распределения времени безотказной работы всех подсистем предполагаются известными. Управляющими параметрами служат число технологических линий, число резервных машин (агрегатов) в каждой линии, ёмкость складов и др. Возможно также внеочередное проведение профилактических мероприятий для повышения надежности машин, составляющих технологические линии.

Математически задача может быть сформулирована, например, следующим образом: найти неотрицательный вектор (u_1, \dots, u_R) , обеспечивающий

$$P\{\xi > t_n\} \rightarrow \max \quad (1)$$

при условии

$$(u_1, \dots, u_R) \in U, \quad (2)$$

где ξ – время безотказной работы комплекса;

t_n – плановое время обработки произвольного объекта;

u_i – параметр управления соответствующий i -й подсистеме;

U – множество допустимых значений параметров u_1, \dots, u_R .

Отметим, что закон определения случайной величины x в (1) зависит от функций надежности $F_i(u_i; t_n)$ каждой подсистемы.

Одним из распространенных методов обеспечения требуемой надежности системы является резервирование. Применительно к ППК применяется резервирование отдельных типов перегрузочных машин или (и) их агрегатов. Специализированные комплексы, например, для перегрузки контейнеров или навалочных грузов, содержат уникальные дорогостоящие машины. Поэтому, основным видом резервирования в этих случаях является резервирование отдельных агрегатов машин. Рассмотрим в качестве примеров некоторые варианты постановки задач оптимизации состава обменного фонда резерв-

ных агрегатов для парка машин ППК. При этом под агрегатами будем понимать не только сложные составные части машин типа ДВС, электродвигателей, механизмов в сборе, но также отдельные узлы и даже крупные детали, если стоимость их резерва заметно влияет на эффективность эксплуатации комплекса. Отказавший основной агрегат машины заменяется работоспособным агрегатом из резервного фонда, восстанавливается и возвращается в резерв. Если агрегат относится к группе невосстанавливаемых изделий, то резервный фонд пополняется путем дополнительных закупок. Наличие восстанавливаемых и невосстанавливаемых агрегатов создает дополнительные трудности при решении подобных задач, поскольку методы расчета вероятности достаточности их резерва существенно различаются.

Обозначим через m – общее число моделей машин в составе комплекса, k_i – число типов агрегатов в резервном фонде для модели i -го типа машин, n_{ij} – число агрегатов типа j для i -ой модели машин в резервном фонде. Обозначим через $K_r(T) = K_r(n_{i1}, \dots, n_{ik_i}; T)$ коэффициент готовности рассматриваемой системы на промежутке эксплуатации $(0, T)$, через $T_i(T) = T_i(n_{i1}, \dots, n_{ik_i}; T)$ – среднее число всех работающих машин i -ой модели на этом же промежутке. Тогда можно поставить следующие две оптимизационные задачи: найти целочисленный неотрицательный вектор $(n_{i1}, \dots, n_{ik_i})$ такой, что

$$K_r(T) \rightarrow \max \quad (3)$$

при условии

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{k_i} c_{ij} n_{ij} \leq K, \quad (4)$$

Можно также максимизировать

$$\sum_{i=1}^m \Pi_i \bar{N}_i(T) \quad (5)$$

при том же условии (4). Здесь c_{ij} – стоимость одного агрегата типа j для i -ой модели машины; K – лимит финансирования на приобретение агрегатов; Π_i – средняя эксплуатационная производительность машины i -ой модели.

Критерий (3) выражает стремление обеспечить максимум надежности ППК, а критерий (5) – максимум средней суммарной производительности машин. Оба критерия сходны по результирующему параметру – суммарной

наработке ППК за расчетный период эксплуатации.

Возможна также постановка обратной задачи: определить такие целые неотрицательные числа n_{ij} , $i = 1, 2, \dots, m$, $j = 1, 2, \dots, k_i$, чтобы

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{k_i} c_{ij} n_{ij} \rightarrow \min \quad (6)$$

при условиях

$$K_r(T) \geq \varepsilon \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^m \Pi_i \bar{N}_i(T) \geq \Pi_0, \quad (8)$$

где ε – заданный уровень надежности и Π_0 – заданная суммарная производительность машин ППК.

Подчеркнем, что величины $T_i(T)$ и $K_r(T)$ зависят не только от показателей надежности машин (средней наработки на отказ различных агрегатов, времени их замены резервными агрегатами и последующего восстановления и др.), но и от чисто эксплуатационных факторов (интенсивности поступления транспортных средств, структуры грузопотока, вариантов работ и т.п.).

Наряду с критериями оптимальности (3) и (5), можно взять также критерий, учитывающий потери из-за простоя транспортных средств в ожидании начала грузовой обработки и в процессе ее выполнения. Обозначим через

$$\bar{L}_s = \bar{L}_s(n_{11}, \dots, n_{1k_1}, \dots, n_{m1}, \dots, n_{mk_m})$$

стационарное среднее число транспортных средств s -го вида транспорта, находящегося в произвольный момент времени на ППК, $s = 1, 2, \dots, S$. Тогда можно сформулировать задачу минимизации суммарных приведенных затрат, связанных с созданием резервного фонда агрегатов и простоями транспортных средств в форме

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{k_i} c_{ij}^{np} n_{ij} + \sum_{s=1}^S \gamma_s^{np} \bar{L}_s \rightarrow \min \quad (9)$$

при условии

$$K_r \geq \varepsilon, \quad (10)$$

где np

c_{ij}^{np} – приведенные затраты по одному резервному агрегату j -го типа для i -той модели машины;

γ_s^{np} - приведенные затраты на содержание одного транспортного средства s -го вида за единицу времени его пребывания на ППК, включая возможные штрафы.

Отметим, что в ряде случаев, в частности, когда отсутствует резерв машин, в задачах перспективного планирования работы комплекса вместо коэффициента готовности целесообразно применять коэффициент технического использования машин. Этот коэффициент учитывает не только потери времени на восстановление машины после внезапных отказов, но также установленный режим плановых технических обслуживаний и ремонтов, т.е. более полно определяет бюджет рабочего времени машины за достаточно длительный период ее эксплуатации. Следует учитывать также, что часто из-за недостатков конструкции машины или низкого качества применяемых материалов и смазок для поддержания должного уровня ее надежности изготовитель или пользователь машины вынуждены назначать весьма интенсивные режимы плановых профилактических мероприятий. В результате коэффициент технического использования машины оказывается весьма низким даже при высоком коэффициенте готовности, уменьшается бюджет рабочего времени машины, возрастают расходы на ее содержание и, следовательно, снижается эффективность эксплуатации. К сожалению, этот показатель также нередко игнорируется при проектировании комплексов в выборе машин из однотипных моделей разных фирм – изготовителей. Оптимизация межремонтных периодов машин и режима пополнения резервного фонда агрегатов (деталей) также являются важнейшими задачами эксплуатационной надежности ППК.

Кроме обозначенных выше, в практике эксплуатации ППК приходится решать и другие задачи, связанные с их надежностью. Как правило, их решение сопряжено с очень трудоемкими вычислениями. Основными причинами тому являются вероятностный характер зависимостей между выходными параметрами и параметрами управления и разнородность этих параметров, которые могут быть дискретными и непрерывными, выражаемыми количественно или качественно. Для выявления упомянутых зависимостей используются современные методы моделирования систем, работающих в условиях неопределенности (теория массового обслуживания, теория запасов и др.), что требует наличие достаточно широкого массива исходных данных. Например, закон распределения наработки подсистем на отказ и коэффициент

тов их готовности, удельных расходов на содержание перегрузочных машин, причалов, складов и других подсистем, параметров, характеризующих поток транспортных средств на обслуживание (погрузочно-разгрузочные и вспомогательные операции) поток отказов перегрузочных машин, а также ряд других данных. Необходимые данные можно получить только при наличии в порту качественной информационной системы, аккумулирующей текущую информацию по результатам эксплуатации ППК и обрабатывающей ее применительно к кругу решаемых задач. К сожалению, ни в одном порту такой информационной системы нет, как нет и четких технических требований к ним, учитывающих необходимость решения задач эксплуатационной надежности. Имеющиеся в ряде портов системы выполняют только простейшие аккумулирующие функции с выдачей ограниченной сводной информации, используемой для обобщенного анализа результатов эксплуатации ППК и эвристического принятия управленческих решений, часто далеких от оптимальных. Вместе с тем отдельные задачи, связанные с прогнозированием работы комплекса на длительный период, с достаточным приближением могут быть решены даже при наличии ограниченной информации: расчет проектных эксплуатационных параметров ППК, его коэффициентов готовности и технического использования.

Краткий анализ проблемы эксплуатационной надежности ППК, приведенный выше, свидетельствует о необходимости нормирования коэффициента готовности и коэффициента технического использования на стадии проектирования ППК, создания специальных технических требований к информационным системам комплексов, с учетом характера решаемых задач, и внедрения этих систем в практику работы портов. Обратить внимание специалистов по проектированию и эксплуатации ППК на существенное влияние эксплуатационной надежности комплексов на их эффективность и острую потребность активизировать научные исследования и проектные разработки в этом направлении – основная цель этой статьи.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Постан М.Я. О применении системного подхода к проектированию и реконструкции портовых перегрузочных комплексов // ВИНТИ. Транспорт: наука, техника, управление. – 1994. - №2. – С. 28 –31*

2. Зубко Н.Ф., Яценко В.А. Эксплуатация и ремонт портовых перегрузочных машин: Учебник для вузов. – М.: Транспорт, 1987. – 424с.

ДАВЛЕНИЕ ВОЛН НА ПОДВОДНЫЙ ТРУБОПРОВОД, ЛЕЖАЩИЙ НА ГРУНТОВОМ ОСНОВАНИИ

Е.Ю.Федорова

Морские подводные трубопроводы широко используются в народном хозяйстве для транспортировки нефти и газа с места добычи на континентальном шельфе на береговые и подводные хранилища, загрузки (выгрузки) на рейде судов наливными грузами, приема с судов балластных вод, сброса сточных вод из городских ливневых канализаций и др.

С целью определения волнового давления на подводный трубопровод, расположенный на разной глубине и при разном заглублении в грунт, а также для изучения взаимодействия трубопровода с грунтовым основанием, в лаборатории морских каналов и акваторий портов Черноморнии проекта были проведены специальные экспериментальные исследования.

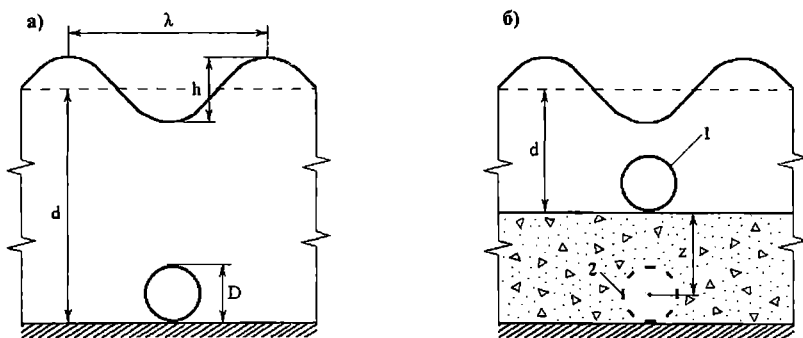


Рис.1. Схемы расположения модели трубопровода

а) модель трубопровода на грунтовом дне;

б) модель трубопровода расположена:

1- на поверхности щебеночной или песчаной подушки;

2- заглублена в подушку на глубину z .

Программа испытаний предусматривала определение волновой нагрузки

на модель трубопровода для трех вариантов (рис.1):

- труба лежит на дне водоема;
- труба заглублена в песок (крупность фракции 0,25 мм);
- труба заглублена в щебеночное основание (крупность фракции 5-10 мм).

В работе рассмотрены мелководный и прибрежный участки трубопровода, когда $d < 0.5\lambda$ (d -глубина воды, λ -длина набегающих волн).

Модель трубопровода, изготовленная из металлической трубы диаметром $D=60$ мм., с толщиной стенки $\delta=3$ мм и длиной 1 м, была уложена на дне гидравлического волнового лотка. Волны в лотке возбуждались стационарным волнопродуктором типа качающегося щита.

Регистрация элементов волнения выполнялась емкостными волномерами. Индуктивные датчики давления были установлены по периметру трубы в отверстиях, которые располагались через 45° по окружности. Результаты измерения волнового давления $P_d(\theta)$ использованы для вычисления вертикальной P_z и горизонтальной P_x составляющих погонной волновой нагрузки P

$$P_z = \frac{D}{2} \int_{-\pi}^{\pi} P_d(\theta) \sin \theta d\theta; \quad P_x = \frac{D}{2} \int_{-\pi}^{\pi} P_d(\theta) \cos \theta d\theta; \\ P = \sqrt{P_x^2 + P_z^2} \cdot \quad (1)$$

В дальнейшем рассматривается относительная погонная волновая нагрузка на трубопровод $\bar{P} = P / (\rho g h D)$. Графики зависимости величины \bar{P} от относительной высоты волнения h/d для трех значений длины волны приведены на рис. 2-4. Здесь точками отмечены экспериментальные результаты, а сплошными линиями аппроксимирующие их зависимости. Номером 1 на этих рисунках обозначены результаты, относящиеся к трубопроводу, уложенному на дне водоема без заглубления, номерами 2 и 4-результаты, относящиеся к трубопроводу, заглубленному в щебеночное и песчаное основания соответственно при заглублении $z=2D$, номерами 3 и 5-результаты для трубопровода, заглубленного в щебеночное и песчаное основания при заглублении $z=3D$.

Для оценки эффективности теоретического решения нелинейной гидродинамической задачи о воздействии набегающего волнения на круглый подводный трубопровод, описанного в [1], ниже в таблицах 1, 2 и 3 выполнено сравнение максимальных, в течение одного периода волны, значений относи

тельной погонной нагрузки, вычисленных теоретически, с определенными экспериментально.

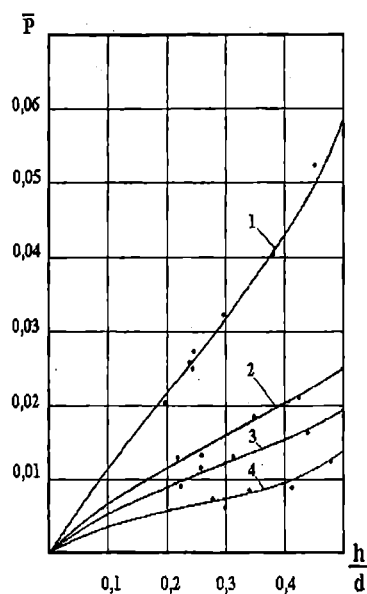


Рис.2. График изменения волнового давления на трубопровод.
Длина волны $\lambda=20\text{м}$

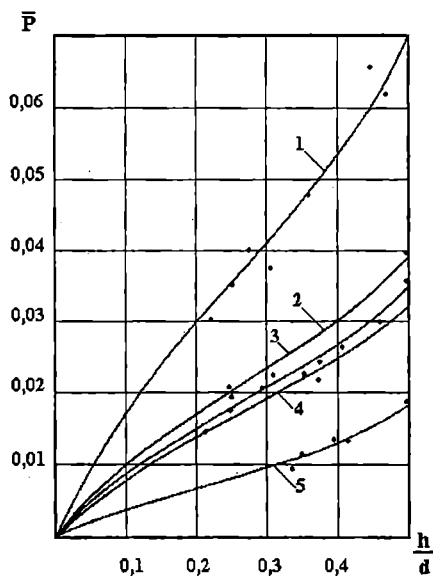


Рис.3. График изменения волнового давления на трубопровод.
Длина волны $\lambda=30\text{м}$

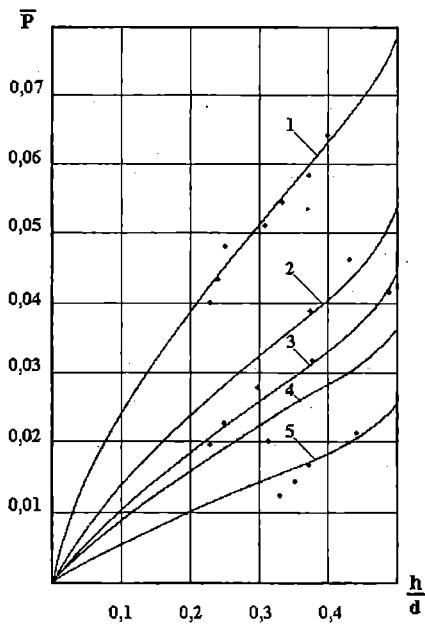


Рис.4. График изменения волнового давления на трубопровод.
Длина волны $\lambda=40\text{м}$

Таблица 1. Длина волны $\lambda=20,0\text{ м}$

d, м	h, м	\bar{P}	
		теория	эксперимент
4,0	0,98	0,043	0,027
	1,42	0,062	0,040
	1,80	0,078	0,052
5,0	1,23	0,034	0,026
	1,58	0,043	0,030
	1,89	0,051	0,040
6,0	1,18	0,021	0,021
	1,44	0,025	0,024
	1,82	0,031	0,027

Таблица 2. Длина волны $\lambda=30,0$ м

d, м	h, м	\bar{P}	
		теория	эксперимент
4,0	1,10	0,049	0,041
	1,60	0,070	0,062
	1,76	0,076	0,068
5,0	1,28	0,041	0,036
	1,81	0,055	0,049
	2,34	0,070	0,065
6,0	1,30	0,031	0,030
	1,90	0,044	0,039
	2,50	0,057	0,055

Таблица 3. Длина волны $\lambda=40,0$ м

d, м	h, м	\bar{P}	
		теория	эксперимент
4,0	1,00	0,042	0,048
	1,25	0,052	0,051
	2,00	0,082	0,082
5,0	1,20	0,039	0,042
	1,65	0,053	0,054
	1,98	0,063	0,064
6,0	1,40	0,036	0,040
	2,20	0,056	0,058
	2,60	0,065	0,063

Рассмотрение приведенных таблиц показывает, что в целом имеет место вполне удовлетворительное соответствие результатов теоретического расчета экспериментальным данным. Наибольшие расхождения, к тому же несистематического характера, имеют место при меньших глубинах водоема и на более коротких волнах, т.е. там, где наиболее вероятна неустойчивость формы волнового профиля, который генерируется пластинчатым волнопродуктором в волновом лотке.

Анализ экспериментальных данных по определению волновой погонной нагрузки для разных заглублений трубопровода и характеристик грунта отсыпки показал, что погонная нагрузка $P(z)$ на трубопровод, заглубленный в

грунт на глубину Z , и погонная нагрузка P на трубопровод, открыто лежащий на дне водоема, связаны соотношением

$$P(z) = P \exp\left(-k \frac{2\pi z}{\lambda}\right). \quad (2)$$

Здесь k -коэффициент, зависящий от характеристик грунта засыпки.

Из (2) следует, что

$$\ln \frac{P}{P(z)} = k \frac{2\pi z}{\lambda} \quad (3)$$

Таким образом, зависимость функции $\ln \frac{P}{P(z)}$ от аргумента $\frac{2\pi z}{\lambda}$ представляет собой прямую с угловым коэффициентом, равным k . Это демонстрируется на графике рис. 5. Наконец, на графике рис. 6 приведены зависимости коэффициента k от длины волны λ для различных грунтов засыпки.

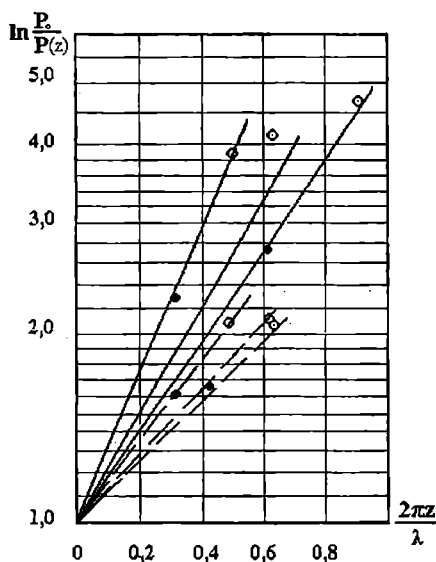


Рис. 5. График зависимости $\ln \frac{P}{P(z)}$ от параметра $\frac{2\pi z}{\lambda}$

--- для щебеночной засыпки

— для песчанной засыпки

• - $Z=2D$

◊ - $Z=3D$

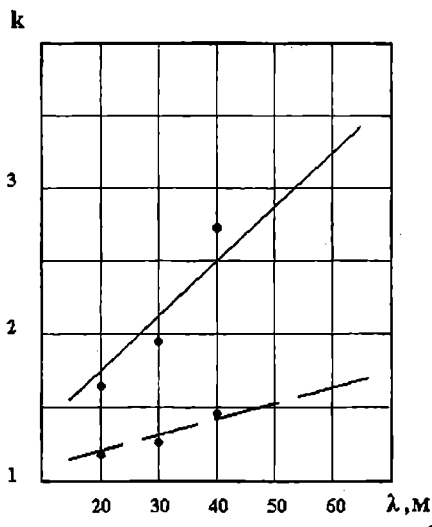


Рис. 6. График зависимости коэффициента k от длины волны λ
 - - - для щебеночной засыпки
 — для песочной засыпки

Приведенные выше приближенные оценки влияния заглубления трубопровода и типа грунта, вместе с результатами расчета волновой погонной нагрузки на трубопровод, лежащий на дне, позволяют с достаточной для практики точностью определить характеристики силового воздействия набегающих волн на донные трубопроводы различного назначения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федорова Е.Ю. Волновые силы, действующие на трубопровод, лежащий на дне //Вісник Одеського державного морського університету 2000. Вип. 5.—С.132-147.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ТОНКОЙ ПОДПОРНОЙ СТЕНКИ С ГРУНТОВОЙ СРЕДОЙ ПРИ ДИНАМИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ

А.В. Гришин

Производится совместный расчет тонкой подпорной стенки, имеющей анкерное устройство, и грунтового массива на действие сосредоточенной или распределенной импульсной нагрузки. При этом учитываются упругопластические свойства их материалов. В дальнейшем такое сочетание стенки и массива будет называться системой. Используется теория пластичности, базирующаяся на ассоциированном законе течения с упрочнением [1]. Материалом стенки может быть металл и бетон, поэтому в качестве функций нагружения для нее применяется условие Писаренко-Лебедева [2], частным случаем которого является условие Мизеса-Генки и условие Гениева [3]. Для грунтовой среды используется условие Кулона-Мора или Боткина [4]. Прочностные и деформационные свойства материалов при динамическом нагружении исследовались в следующих работах: для бетона [5,6], для грунтов [7,8].

Расчет данного типа конструкций по теории предельного напряженного состояния при сейсмических воздействиях рассматривался в работе [9]. Исследования по тонким подпорным стенкам в указанной выше нелинейной постановке автору не известны. Расчетная схема рассматриваемой задачи показана на рис. 1.

На основании принципа виртуальной работы [10], который не зависит от соотношений напряжение-деформация, в момент времени t можно получить следующее равенство

$$\int_{\Omega} [\delta \varepsilon]^T \sigma d\Omega + \int_{\Omega} [\delta u]^T (\rho \ddot{u} + c \dot{u} - P) d\Omega + \int_{\Gamma_1} [\delta u]^T q d\Gamma = 0, \quad (1)$$

где $\delta \varepsilon, \delta u$ - векторы виртуальных деформаций и перемещений; σ - вектор напряжений; ρ - плотность материала; c - параметр затухания; P - объемная нагрузка, q - импульсная поверхностная нагрузка; $\Gamma = \Gamma_1 \cup \Gamma_2$ - грани-

ца системы.

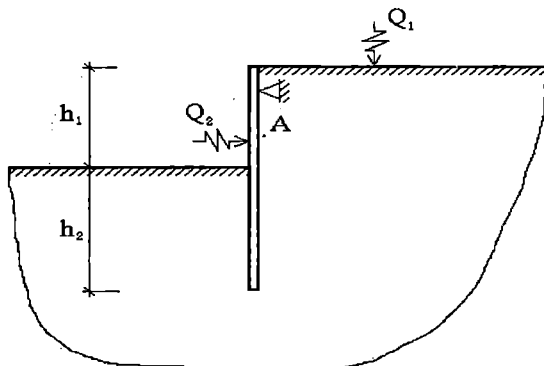


Рис. 1. Расчетная схема сооружения

В первое слагаемое (1) входят деформации и напряжения. Выразим деформации через перемещения, чтобы соотношение (1) было функцией только вектора перемещений и его производных по времени.

Пластические деформации не определяются однозначно через напряжения. Связь между ними имеет вид дифференциальных неинтегрируемых соотношений, которые являются следствием принципа максимума Мизеса. При малых удлинениях, сдвигах и углах поворота приращения деформации находятся через приращения перемещений как

$$d\varepsilon_{ks} = \frac{1}{2} (du_{k,s} + du_{s,k}). \quad (2)$$

Постулат суммирования приращений упругой и пластической деформаций определяется равенством

$$d\varepsilon_{ks} = d\varepsilon_{ks}^{(e)} + d\varepsilon_{ks}^{(p)}. \quad (3)$$

Компоненты тензора приращений упругой деформации связаны с компонентами тензора приращений напряжений законом Гука

$$d\varepsilon_{ks}^{(e)} = C_{ksmn}^{(e)} d\sigma_{mn}. \quad (4)$$

Компоненты тензора приращений пластической деформации в окрестности регулярной точки определяются соотношением [1]

$$d\varepsilon_{ks}^{(p)} = d\lambda f_{,\sigma_{ks}}, \quad d\lambda = const > 0, \quad (5)$$

где $f_{,\sigma_{ks}}$ - производная от функции нагружения по σ_{ks} .

Используем тензор активных напряжений

$$\sigma_{ks}^0 = \sigma_{ks} - \rho_{ks}, \quad (6)$$

где $\rho_{ks} = ae_{ks}^{(p)}$, a - параметр кинематического упрочнения и условие непрерывности функции нагружения. Подставляя (4) и (5) в (3), после целого ряда преобразований окончательно получаем уравнения состояния:

$$\begin{aligned} d\sigma_{ks} &= D_{ksmn}^{(e)} d\varepsilon_{mn}, \text{ если } f = 0, \quad d'f > 0; \\ d\sigma_{ks} &= D_{ksmn}^{(ep)} d\varepsilon_{mn}, \text{ если } f = 0, \quad d'f \leq 0. \end{aligned} \quad (7)$$

Здесь $D_{ksmn}^{(e)}$ - упругие постоянные закона Гука;

$$D_{ksmn}^{(ep)} = \left[D_{ksmn}^{(e)} - \frac{f_{,\sigma_{ks}} D_{ksmn}^{(e)} f_{,\sigma_{mn}} D_{ksmn}^{(e)}}{f_{,\sigma_{ks}} D_{ksmn}^{(e)} f_{,\sigma_{mn}} - af_{,\rho_{ij}} f_{,\sigma_{ij}}} \right]. \quad (8)$$

Уравнения состояния зависят от функции нагружения и ее производных. В настоящее время нет да и практически не может быть единой функции приемлемой для всего многообразия имеющихся материалов. Как показали эксперименты, среды, обладающие различными свойствами, описываются различными функциями нагружения. Поэтому в программном комплексе, реализующем предлагаемую методику, используются шесть наиболее проверенных опытными данными и базирующихся на основных предпосылках механики деформируемых сред, функций нагружения.

Рассмотрим, например, условие Кулона-Мора, которое применяется для грунтовых оснований [4,8,12] и горных пород [11]. В инвариантной форме оно записывается в следующем виде:

$$(\sigma_0 - \sigma_i \sin \psi / \sqrt{3}) \sin \varphi + \sigma_i \cos \psi - c \cos \varphi = 0, \quad (9)$$

где φ, ψ - соответственно, угол внутреннего трения и сцепление в предельном состоянии текучести; σ_0, σ_i, ψ - инварианты тензора напряжений, приведенные в [13]. Производные от (9) по σ_{ks} имеют громоздкий вид и здесь не приводятся.

Из (5) и (9) следует, что приращение объемной пластической деформации при формоизменении грунтовой среды определяются как

$$d\varepsilon_0^{(p)} = d\lambda \sin \varphi. \quad (10)$$

Но $d\lambda > 0$ и $\sin \varphi > 0$, поэтому среда увеличивается в объеме, т.е. она разрыхляется.

Грунты обладают необратимой сжимаемостью, связанной не только с формоизменением материала, но и с всесторонним растяжением и сжатием. В этом случае можно предположить, что для пластической среды независимо от функции нагружения (9) определена связь между первыми инвариантами тензоров напряжений σ_0 и пластической деформации $\varepsilon_0^{(p)}$ в виде [1]

$$\varepsilon_0^{(p)} = f_0(\sigma_0).$$

Дифференцируя данное соотношение, находим

$$d\varepsilon_0^{(p)} = f_{0,\sigma_0} d\sigma_0. \quad (11)$$

Закон течения (11) от всестороннего сжатия или растяжения независим от (9) и рассматривается как ассоциированный с функцией нагружения

$$f_1 = f_0 - \varepsilon_0^{(p)} = 0. \quad (12)$$

Поверхности f_1 и f будут ограничивать область упругого состояния грунтовой среды в каждой ее точке и в местах их пересечения будет верно соотношение

$$d\varepsilon_0^{(p)} = f_{,\sigma_0^0} \sigma_{,\sigma_{kk}}^0 + f_{,\sigma_0} d\sigma_0. \quad (13)$$

Вид функции $f_0(\sigma_0)$ устанавливается из опытных данных для конкретных материалов. Для грунтов некоторые из функций приведены в [14]. Например, для предложенной С.С. Григорьяном зависимости

$$\varepsilon_0^{(p)} = e_s [1 - \exp(-b\sigma_0)]$$

можно определить $d\varepsilon_0^{(p)}$ как

$$d\varepsilon_0^{(p)} = b e_s \exp(-b\sigma_0) d\sigma_0.$$

Для дробно-линейной зависимости вида

$$\varepsilon_0^{(p)} = \frac{\sigma_0 e_s}{\sigma_0 + K_0 e_s}$$

находим

$$d\varepsilon_0^{(p)} = \frac{K_0 e_s^2}{(\sigma_0 + K_0 e_s)^2} d\sigma_0.$$

В приведенных формулах e_s есть предельное значение объемной деформации при $\sigma_0 \rightarrow \infty$, т. е. когда материал приобретает предельную плотность;

K_0 - модуль объемного деформирования при напряжениях равных σ^T от всестороннего сжатия

Пусть для некоторой частицы грунтовой среды определено напряженно-деформированное состояние, которое соответствует некоторой точке А на поверхности нагружения f_1 . Как показано выше, происходит разрыхление материала, при котором давление σ_0 , необходимое для необратимого изменения объема, определяемое функцией $f_0(\sigma_0)$, уменьшается. В связи с этим поверхность нагружения f_1 начинает перемещаться в направлении точки А. При ее достижении следует определять пластические деформации с учетом всестороннего сжатия и формоизменения. В этом состоянии дальнейшее разрыхление грунта происходить не может, т. к. оно привело бы к снижению его сопротивления объемному давлению, что вызвало бы дальнейшее движение f за точку А, а это невозможно при $\sigma_0 = const$. Поэтому приращение пластических объемных деформаций в данном положении функций нагружения f_1 и f будет равно нулю, следовательно, $\varepsilon_0^{(p)} = const$. Получаем следующую дилатансионную зависимость между ε_0 и ξ при нагружении: с увеличением ε_i увеличивается и ε_0 пока f_1 и f не пересекутся в точке А, но при дальнейшем увеличении ε_i величина ε_0 остается постоянной. В момент пересечения f_1 и f в точке А вектор приращения пластической деформации становится не ортогональным поверхности f .

Как будет показано ниже, в момент времени t_n строится итерационный процесс для определения приращений перемещений du^i . Если на i -ом приращении нагрузки известны u^{i-1} , ε^{i-1} , σ^{i-1} , обычно вычисленные на $i-1$ приращении, то после определения du^i , а затем $d\varepsilon^i$ и $d\sigma^i$ по указанной выше методике, полные перемещения, деформации и напряжения будут найдены по формулам:

$$u^i = u^{i-1} + du^i, \quad \varepsilon^i = \varepsilon^{i-1} + d\varepsilon^i, \quad \sigma^i = \sigma^{i-1} + d\sigma^i.$$

При численном решении нелинейных упругопластических динамических задач приходится реализовывать два основных этапа: во-первых производить дискретизацию исходных уравнений как по времени, так и по области, занимаемой системой; во-вторых строить пошаговый процесс для определения искомого результата на заданном отрезке времен от 0 до Т. При действии

ударных и других типов нагрузки не удается освободиться в исходных уравнениях от переменной времени t , как это делается в теории установившихся колебаний, а это увеличивает размерность задачи и требует дополнительных временных затрат при реализации решения. Для первой дискретизации заданный временной отрезок делится на N временных интервалов длиной Δt и в каждые дискретные моменты времени t_n строятся исходные уравнения. Для второй дискретизации внутренняя область системы разбивается на конечные и по бесконечной границе основания на бесконечные изопараметрические элементы. Если основание ограничить, как это часто делается при решении статических задач, конечной областью, то отраженные от ее границы волны могут исказить результаты решения. В некоторых работах, например [15], рекомендуется на бесконечных границах использовать конечные элементы с вязкой границей, способные моделировать бесконечную среду.

В программном комплексе применялись 4-х, 8-и и 9-и узловые конечные элементы и 4-х, 5-и и 6-и узловые бесконечные элементы. Например, для 8-и узловых конечных элементов функции формы в локальной системе координат $\xi_i (-1 \leq \xi_i \leq 1)$ имеют следующий вид [16]:

$$N_i^r(\xi) = \frac{1}{4}(1 + \xi_1 \xi_1^2)(1 + \xi_2 \xi_2^2)(\xi_1 \xi_1^2 + \xi_2 \xi_2^2 - 1), r = 1, 3, 5, 7;$$

$$N_i^r(\xi) = \frac{1}{2}(\xi_1^2)^2(1 + \xi_1 \xi_1^2)(1 - \xi_1^2) - \frac{1}{2}(\xi_2^2)^2(1 + \xi_2 \xi_2^2)(1 - \xi_2^2), r = 2, 4, 6, 8.$$

Производные от функций формы $N_i(\xi)$ по глобальным координатам x_k вычисляются как

$$N_i(\xi)_{x_k} = N_i(\xi)_{\xi_s} \xi_{s,x_k},$$

где ξ_{s,x_k} - элементы обратной матрицы Якоби.

Перемещения и деформации в элементах системы определяются по следующим формулам:

$$u = \sum_{i=1}^m N_i d_i, \quad \varepsilon = \sum_{i=1}^m B_i d_i, \quad (14)$$

где d - вектор узловых перемещений элемента, m - количество узлов в элементе, B_i - матрица производных от N_i по x_k [16].

После подстановки (14) в (1) и преобразований была получена система нелинейных алгебраических уравнений, которую можно записать для момен-

та времени t , в виде следующего матричного уравнения:

$$M\ddot{d} + C\dot{d} + K(d) = Q, \quad (15)$$

где M – матрица масс; C – матрица параметров затухания; $K(d)$ – матрица жесткости, зависящая от вектора перемещений; Q – матрица действующей в узлах импульсной нагрузки; d, \dot{d}, \ddot{d} – соответственно вектора узловых перемещений скорости и ускорений.

Элемент матрицы масс M для узла i вычисляется по формуле

$$\int_{\Omega} [N_i]^T \rho [N_i, N_1, \dots, N_m] d\Omega = \sum_{j=1}^m [M_{ij}], \quad (16)$$

где m – число узлов в системе, ρ – плотность материала. В (16) используются те же функции формы, что и в (14), поэтому M является матрицей распределенных масс. Если массу элемента распределить равномерно между узлами, то матрица становится диагональной и является матрицей сосредоточенных масс.

Элементы матрицы демпфирования определяются по формуле аналогичной (16), в которой необходимо ρ заменить на коэффициент демпфирования s . Матрица демпфирования C не может формироваться с помощью матриц демпфирования отдельных элементов как матрица масс M , а определяется для всей системы на основании ее общей диссипативной энергии, что вызывает значительные трудности. Поэтому часто матрицу C определяют на основе гипотезы Релея как линейную комбинацию подобных матриц масс M и жесткости K [17].

$$C = \alpha M + \beta K \quad (17)$$

где α и β постоянные, определяемые с помощью коэффициентов затухания. Например, для грунтовых сред хорошее согласование с результатами опытных данных было получено для $\beta = 0,005$ и $\alpha = 0$ [15]. Вопросы демпфирования в конструкциях и материалах рассмотрены в монографии [18].

Матрица жесткости K зависит от узловых перемещений d , которые явно и неявно входят в матрицу $D^{(ep)}$ (8). Обычно в итерационном процессе элементы этой матрицы определяются из предыдущих приближений, поэтому K подобна M .

Уравнение равновесия (15) выполняется только в дискретных точках $t_k (k = 1, 2, \dots, T)$ заданного отрезка времени, но изменения перемещений, ско-

ростей и ускорений на временном интервале Δt влияет на точность и устойчивость решений в момент времени $t_k + \Delta t$. Основными методами решения динамических задач являются методы прямого интегрирования, которые и базируются на данных предпосылках. Далее предполагается, что для определения решения в момент времени $t_k + \Delta t$ должны быть известны решения для всех предыдущих моментов времени t_1, t_2, \dots, t_n , а при $t = 0$ должны быть заданы начальные условия $d_0, \dot{d}_0, \ddot{d}_0$. Если при вычислении перемещений для момента времени $t_{n+1} = t_n + \Delta t$ используется уравнение равновесия (15) для момента времени t_n , то подобные методы являются явными. Если используется (15) в момент времени t_{n+1} , то методы называются неявными. Классические явные и неявные методы для решения линейных задач изложены в [17]. Метод линейного ускорения в приращениях для нелинейных задач приведен в [19].

Формула для определения узловых перемещений в момент времени t_{n+1} для явного метода по схеме центральных разностей имеет вид

$$d_{n+1} = [M + 0,5C\Delta t]^{-1} (\Delta t^2 [p - K(d_n)] - 2Md_n - [M - 0,5C\Delta t]d_{n-1}). \quad (18)$$

Если матрицы M и C диагональные, то обращение матрицы $[M - 0,5C\Delta t]$ можно производить на уровне элементов без образования матрицы системы, что очень облегчает вычислительный процесс. Как видно из (18), не требуется выполнять обращение матрицы $K(d_n)$, но приходится затрачивать больше времени на ее вычисление, связанное с нелинейностью. Основным недостатком явных методов является их условная устойчивость [17], что приводит к увеличению числа временных шагов на заданном отрезке времен $0 - T$ и соответственно, существенно увеличивает время счета.

Неявные методы являются безусловно устойчивыми [17]. Это позволяет значительно увеличивать длину временного интервала Δt , что существенно сокращает время счета. Рассмотрим модификацию метода Ньюмарка, связанную с нелинейностью матрицы жесткости K . Он, как и для линейных задач предполагает, что ускорение изменяется линейно на временном интервале Δt , а перемещения и скорости определяются в момент времени t_{n+1} по формулам:

$$\begin{aligned} d_{n+1} &= d_n + \Delta t \dot{d}_n + 0,5(1 - 2\alpha)\Delta t^2 \ddot{d}_n + \alpha \Delta t^2 \ddot{d}_{n+1}, \\ \dot{d}_{n+1} &= \dot{d}_n + (1 - \delta)\Delta t \ddot{d}_n + \omega \delta \Delta t \ddot{d}_{n+1}, \end{aligned} \quad (19)$$

где $\alpha = 0,25$ и $\delta = 0,5$ - параметры, определяющие точность и устойчивость метода. Для определения \ddot{d}_{n+1}^i в (19) используется уравнение (15) для t_{n+1} . Начальное ускорение \ddot{d}_0 при $t = 0$ определяется из (15) при d_0, \dot{d}_0 и Q_0 , которые заданы в начальных условиях.

Для определения приращения узловых перемещений строится дополнительный итерационный процесс, который вкладывается в пошаговую временную процедуру метода Ньюмарка. Пусть требуется определить перемещение, скорости и ускорения в момент времени t_{n+1} , при условии, что в момент времени t_n они известны. Перед началом итерационного процесса, т. е. при $i = 0$, определяем по (19) стартовые значения $d_{n+1}^i, \dot{d}_{n+1}^i$ при $\ddot{d}_{n+1}^i = 0$. Затем строится цикл по i , который включает следующие этапы:

1. Вычисляется невязка в уравнении (15)

$$dQ^i = Q_{n+1} - M\ddot{d}_{n+1}^i - C\dot{d}_{n+1}^i - K(d_{n+1}^i). \quad (20)$$

2. Определяется эффективная матрица жесткости

$$\bar{K} = a_0 M + a_1 C + K(d_{n+1}^i), \quad (21)$$

где $a_0 = \frac{1}{\alpha \Delta t^2}, \quad a_1 = \frac{\delta}{\alpha \Delta t},$

α, δ - параметры метода Ньюмарка.

3. Решается система алгебраических уравнений и определяется приращение узловых перемещений

$$\bar{K} \Delta d^i = d\bar{Q}^i. \quad (22)$$

4. Определяются исправленные значения узловых перемещений, скоростей и ускорения

$$\begin{aligned} d_{n+1}^{i+1} &= d_{n+1}^i + \Delta d^i, \\ \dot{d}_{n+1}^{i+1} &= (\dot{d}_{n+1}^{i+1} - \dot{d}_n^i) / \alpha \Delta t, \end{aligned} \quad (23)$$

$$\ddot{d}_{n+1}^{i+1} = \dot{d}_{n+1}^i + \delta \Delta t \ddot{d}_{n+1}^{i+1}.$$

5. Проверяются условия сходимости

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{\|\Delta d\|}{\|d + \Delta d\|}} \leq \varepsilon_0, \quad (24)$$

где ε_0 - заданная погрешность вычислений.

6. Если условие (24) не выполняется, то осуществляется переход к пунк-

ту 1. В противном случае цикл заканчивается и в момент времени t_{n+1} принимается

$$d_{n+1} = d_{n+1}^{i+1}, \dot{d}_{n+1} = \dot{d}_{n+1}^{i+1}, \ddot{d}_{n+1} = \ddot{d}_{n+1}^{i+1}. \quad (25)$$

В [17] после детальных исследований показано, что строгая ограниченность временного шага в явных методах допускается не для всех элементов системы, поэтому возможно применять в итерационном процессе совместно методы явного и неявного интегрирования. Для этого в (20) и (21) необходимо для допустимых областей явного метода определять элементы матрицы K по явной схеме, а для остальных областей по неявной схеме. Такая модификация итерационного процесса может существенно уменьшить временные затраты на решение системы (22). Указанная процедура заложена в программном комплексе как вариант решения.

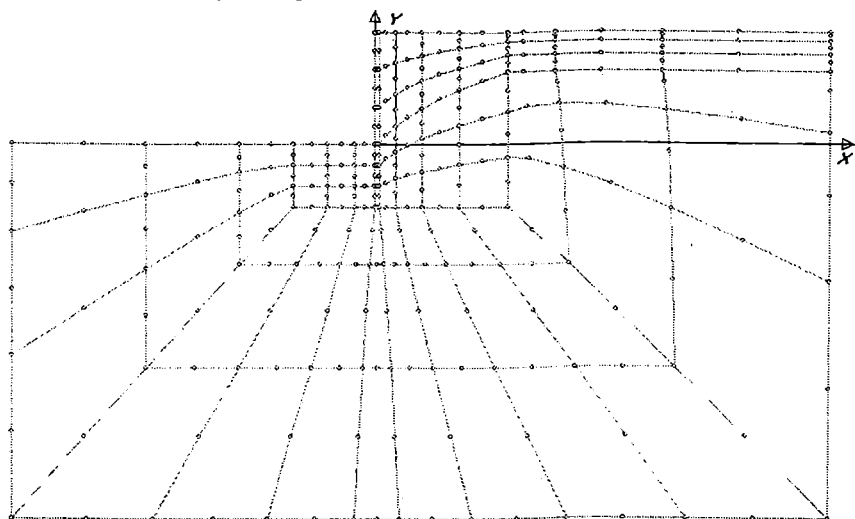


Рис. 2. Общая схема

Для численной реализации предложенной методики был разработан программный комплекс в системе Delphi, в котором реализуется решение упруговязкопластических динамических задач по явной, неявной и комбинированной схемам интегрирования. Динамическое воздействие может быть импульсным, гармоническим, температурным или в виде заданного во времени ускорения. Исходный файл создается в диалоговом режиме. Выходная информация выводится в виде таблиц в файл вывода или на экран монитора в виде различных эпюр перемещений, напряжений и пластических зон на за-

данном отрезке времени. Указанная информация в табличной или графической форме может быть выведена на печатающее устройство.

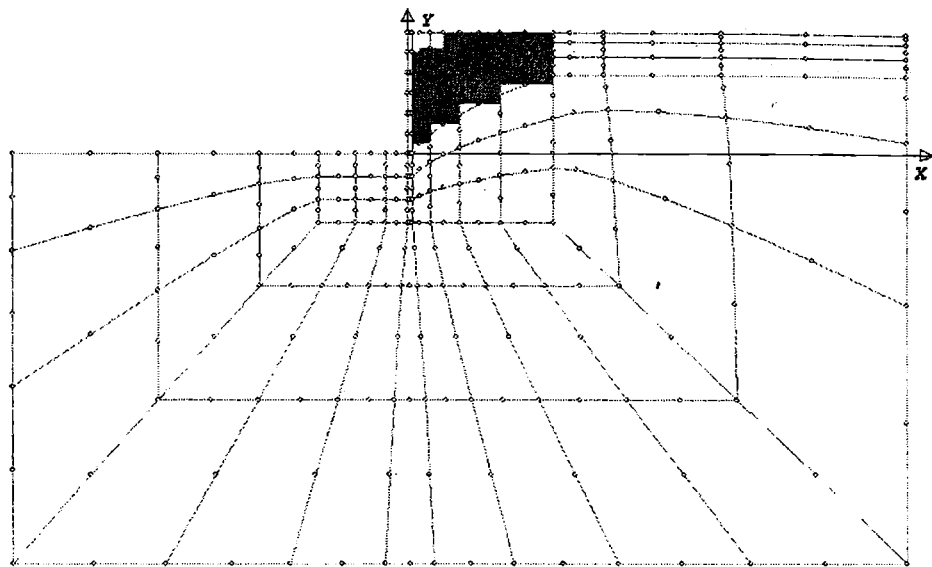


Рис. 3. Образование пластических зон в момент времени $t=9$ сек.

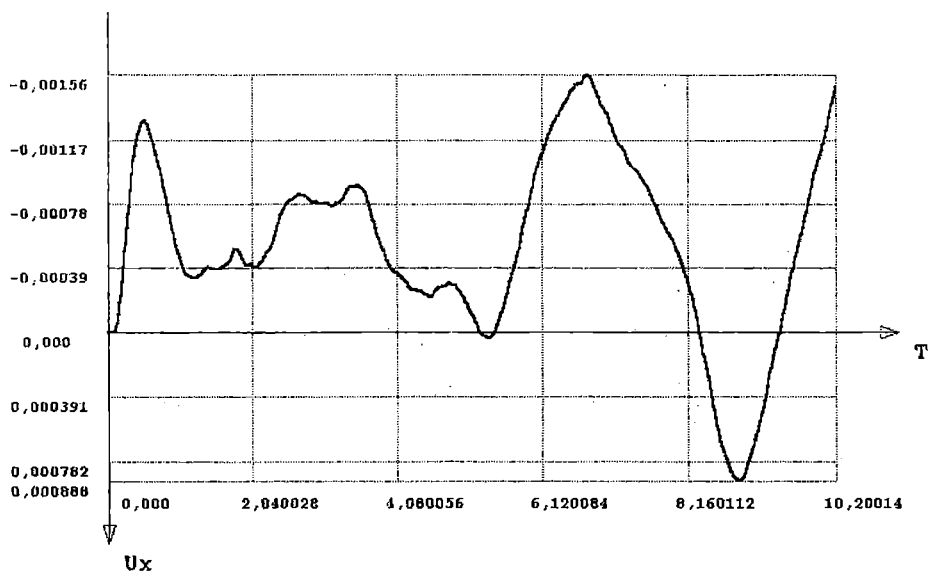


Рис. 4. Эюра компонента u_x вектора перемещения точки A .

Рассмотрим применение указанной выше методики на конкретном числовом примере. Пусть заданы $h_1 = 10,75$ м, $h_2 = 6$ м, импульсная нагрузка интенсивностью $q_1 = 0,1$ МПа. Стенка железобетонная с характеристиками

для бетона: $E = 30000$ МПа; $m = 0,3$; $\sigma_p = 1,5$ МПа; $\sigma_c = 15$ МПа. Для грунтового массива $E = 20$ МПа; $m = 0,3$; $c = 0,02$ МПа; $\varphi = 21^\circ$. Время действия нагрузки составляет 10 сек, временной шаг $\Delta t = 0,01$ сек, а их количество было равно 1020, т. е. $T = 10,2$ сек. Параметры метода Ньюмарка $\alpha = 0,25$ и $\beta = 0,5$. Использовался неявный метод интегрирования.

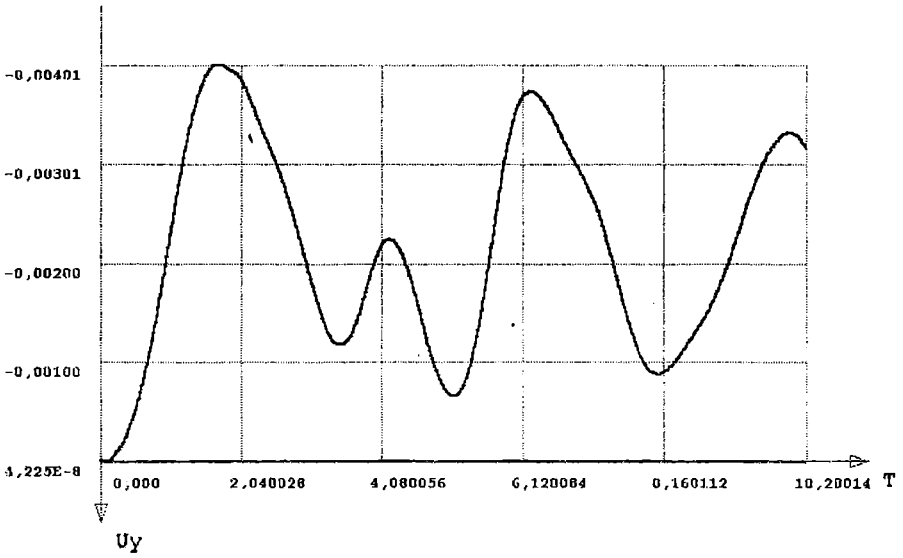


Рис. 5. Эюра компоненты u_y вектора перемещения точки A

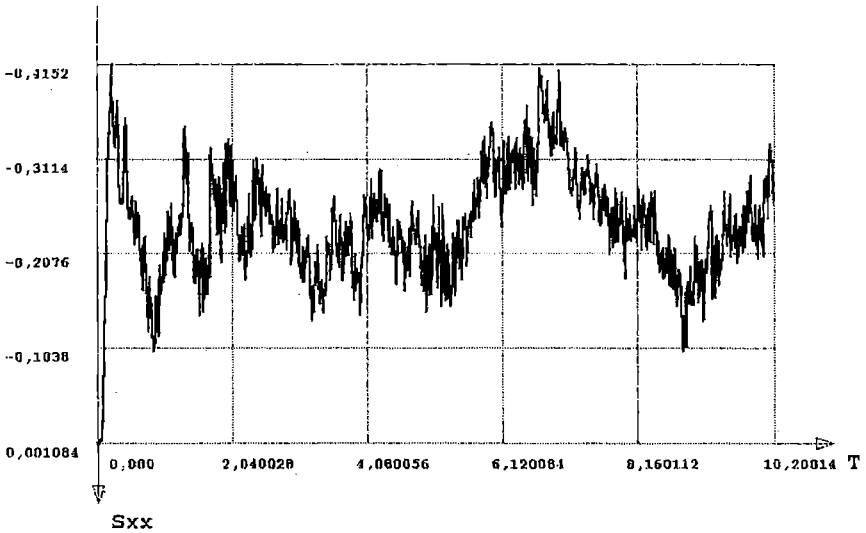


Рис. 6. Эюра напряжений σ_x в точке A на отрезке времени от 0 до 10,2 сек.

На рис. 2 и 3 изображена общая схема и образование пластических зон в момент времени $t = 9$ сек.

На рис. 4 и 5 представлены эпюры компонент u_x и u_y вектора перемещения точки А, показанной на рисунке 1 (в метрах). Из эпюр видно, что колебания u_x и u_y точки А происходят не относительно осей x и y , а относительно смещенных линий. Это вызвано тем, что после удара в массиве образовались пластические зоны, которые привели к остаточным перемещениям.

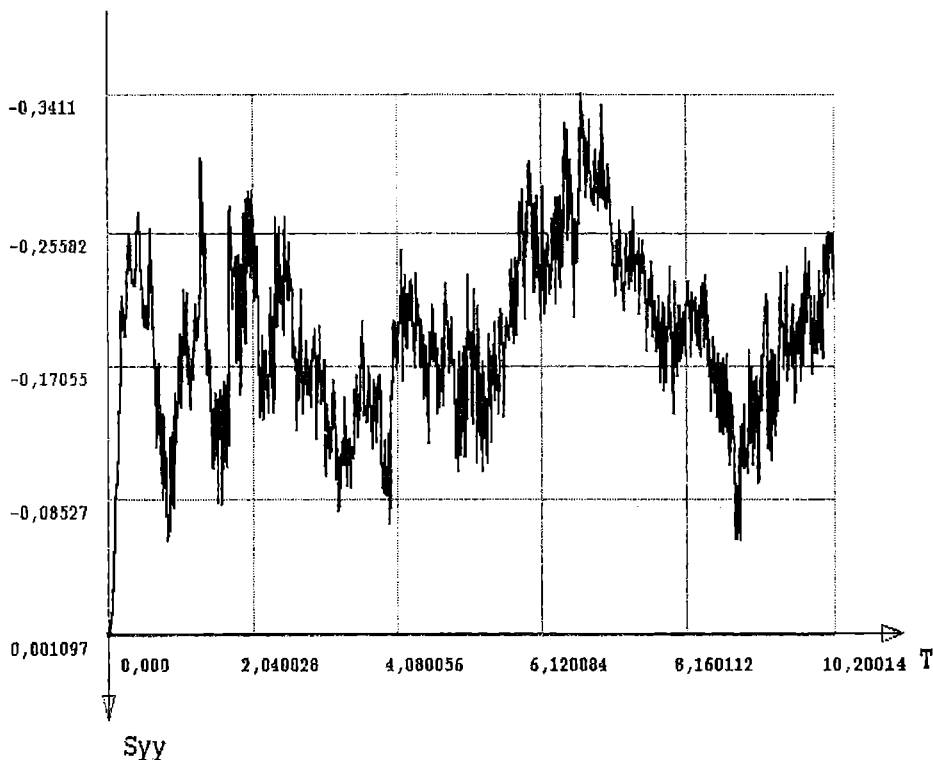


Рис. 7. Эпюра напряжений σ_y в точке А на отрезке времени от 0 до 10,2 сек.

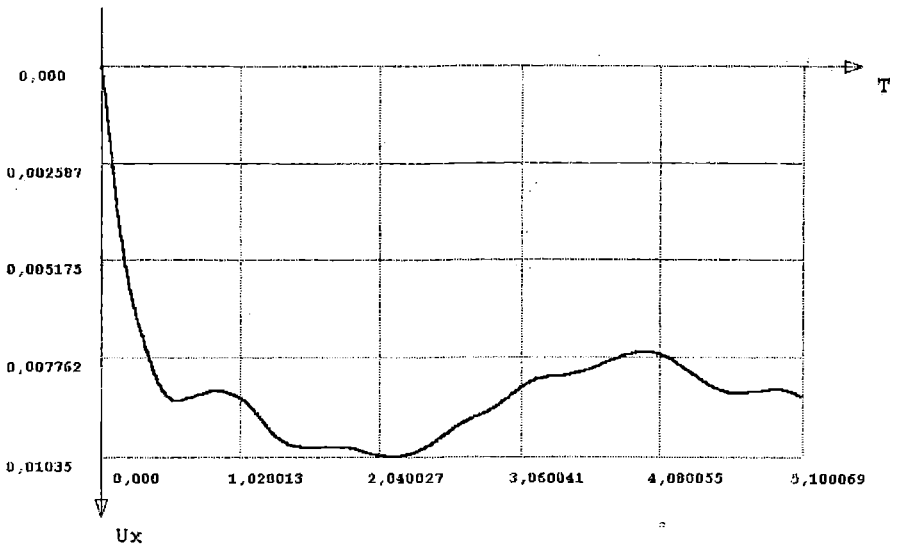


Рис. 8. Эюра колебаний u_x в точке А на отрезке времени $T=5,1$ сек.

На рис. 6 и 7 показаны эюры изменений напряжений σ_x, σ_y в точке А на отрезке времени от 0 до 10,2 сек. Здесь так же видны смещения колебаний напряжений, что вызвано образованием остаточных напряжений.

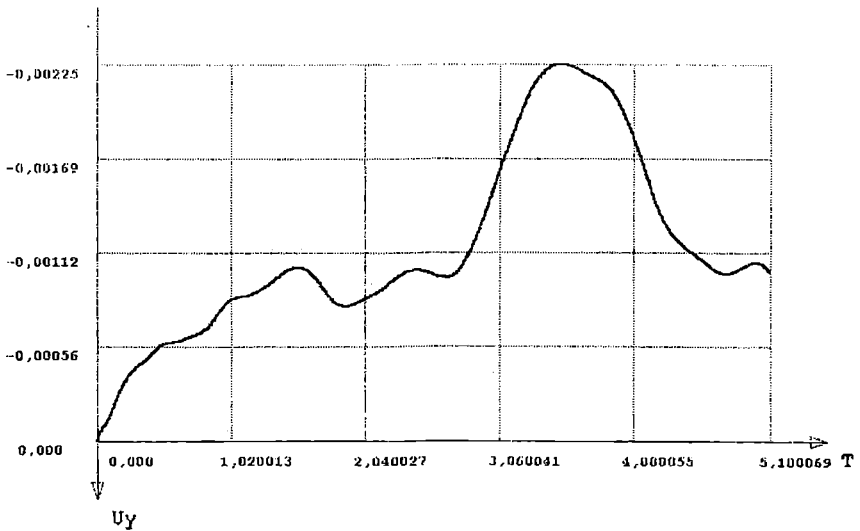


Рис. 9. Эюра колебаний u_y в точке А на отрезке времени $T=5,1$ сек.

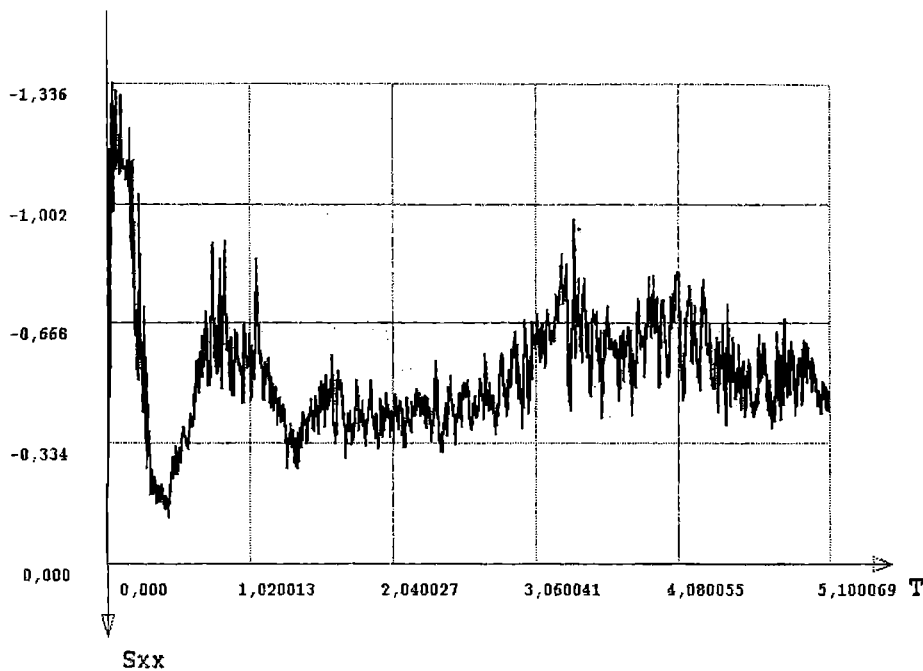


Рис. 10. Эюра напряжений σ_x в точке А от действия нагрузки Q_2 .

Было выполнено решение при действии сосредоточенной горизонтальной нагрузки $Q_2 = 20\text{т}$. На рис. 8 и 9 приведены эюры колебаний u_x и u_y в точке А на отрезке времени $T = 5,1$ сек при длине временного интервала $\Delta t = 0,005$ сек. Остальные исходные данные имели предыдущие значения. В момент удара происходит резкое нарастание перемещения u_x с последующими незначительными изменениями. Пик перемещений u_y достигается при $t = 3,3$ сек, затем наступает их стабилизация. Для напряжений σ_x, σ_y происходит резкий скачок в момент удара, а затем наступает их стабилизация. Здесь так же наблюдают смещение колебаний перемещений и напряжений, что связано с их остаточными значениями.

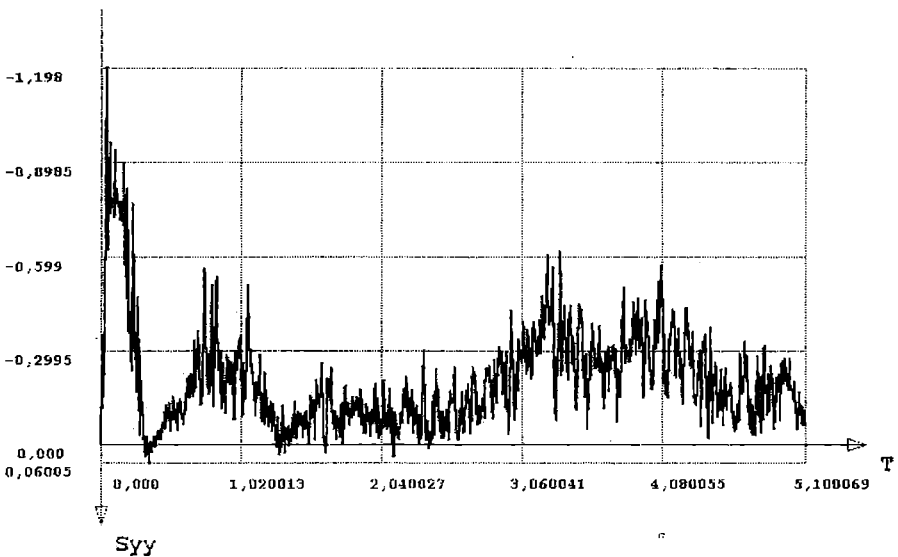


Рис. 11. Эюра напряжений σ_y в точке А от действия нагрузки Q_2 .

Разработанная методика и программный комплекс позволяют производить расчеты различных конструкций, взаимодействующих с грунтовой средой, от действия разного вида различных динамических нагрузок с учетом реальных свойств их материалов, как упругость, вязкость и пластичность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ивлев Д.Д., Быковцев Г.И. Теория упрочняющегося пластического тела. – М.: Наука, 1971. – 231 с.
2. Писаренко Г. С., Лебедев А.А. Деформирование и прочность материалов при сложном напряженном состоянии. – К.: Наукова думка, 1976.- 415 с.
3. Гениев Г.А., Киссюк В.Н., Тюпин Г.А. Теория пластичности бетона и железобетона. – М.: Стройиздат, 1974. – 316 с.
4. Зарецкий Ю.К. Вязкопластичность грунтов и расчеты сооружений. – М.: Стройиздат, 1988. – 350 с.
5. Баженов Ю. М. Бетон при динамическом нагружении. – М.: Издательство литературы по строительству, 1970. – 272 с.
6. Попов Н.Н., Расторгуев Б.С., Забегаев А.В. Расчет конструкций на динамические специальные нагрузки. – М.: Высшая школа, 1992. – 319 с.

7. Красников Н. Д. Динамические свойства грунтов и методы их определения. – Л.: Стройиздат, 1970. – 233 с.
8. Николаевский В.Н. Механика пористых и трещиноватых сред. – М.: Недра, 1984. – 232 с.
9. Яковлев П.И. Устойчивость транспортных гидротехнических сооружений. – М.: Транспорт, 1986. – 191 с.
10. Васидзу К. Вариационные методы в теории упругости и пластичности. – М.: Мир, 1987. – 542 с.
11. Ставрогин А.Н., Протосеня А.Г. Пластичность горных пород. – М.: Недра, 1979. – 301 с.
12. Фадеев А.Б. Метод конечных элементов в геомеханике. – М.: Недра, 1987. – 221 с.
13. Новожиллов В.В. Теория упругости, - Судпромгиз, 1958. – 370 с.
14. Вялов С.С. Реологические основы механики грунтов. – М.: Высшая школа, 1978. – 311 с.
15. Программное обеспечение исследований по механике грунтов и фундаментостроению. – М.: Стройиздат, 1991. - 527 с.
16. Zienkiewicz O.C. The finite element method. – Mcgraw – Hill Book Company (UK) Limited, 1986. – 787 p.
17. Бате К., Вилсон Е. Численные методы анализа и метод конечных элементов. – М.: Стройиздат, 1982. – 447 с.
18. Нашиф А., Джоунс Д., Хендерсон Дж. Демпфирование. – М.: Мир. – 1988. – 448 с.
19. Клаф Р., Пензиен Дж. Динамика сооружений. – М.: Стройиздат, 1979. – 319 с.

СОВМЕСТНЫЙ УПРУГОВЯЗКОПЛАСТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ УГОЛКОВОЙ КОНСТРУКЦИИ И ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩЕГО С НЕЙ ГРУНТА

И. Г. Бугаева

Рассматривается угловая подпорная стенка (рис.1) высотой H и шириной b , которая частично погружена в грунтовую среду на глубину h и подвергается воздействию бокового давления грунта и равномерно распределенной нагрузки на поверхности засыпки. Учитывается собственный вес стенки и засыпки. Материалом стенки может быть бетон или железобетон.

Расчетная область моделируется упругопластической средой, к которой применим ассоциированный закон течения с упрочнением [1]. В качестве функции нагружения для конструкции стенки принимается условие Гениева [2], а для грунта основания и засыпки условие Кулона-Мора.

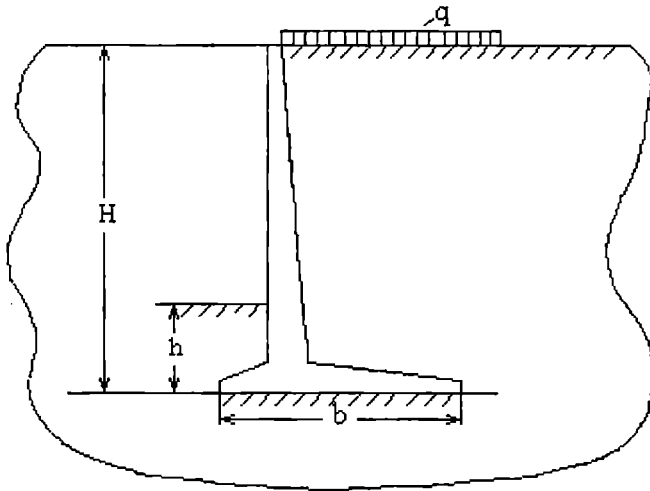


Рис. 1. Расчетная схема

Полагаем, что деформации происходят при малых удлинениях, сдвигах, углах поворота и имеет место постулат суммирования упругой и вязкопласт-

тической скоростей деформаций

$$\dot{e}_{ks} = \dot{e}_{ks}^{(e)} + \dot{e}_{ks}^{(vp)} \quad (1)$$

Компоненты тензора скоростей упругой деформации находятся по формуле

$$\dot{e}_{ks}^{(e)} = C_{ksmn}^{(e)} \dot{\sigma}_{mn} \quad (2)$$

Предполагаем, что вязкие свойства материала стенки и взаимодействующего с ней грунта проявляются только в пластических областях. Следуя работе [3], компоненты тензора скоростей вязкопластической деформации принимаем в виде

$$\dot{e}_{ks}^{(vp)} = \gamma < \Phi(f) > f_{,\sigma_{ks}} \quad (3)$$

где функции $\Phi(f)$ определяются из опытных данных.

На временной оси выбираем множество точек $t_0, t_1, t_2, \dots, t_n$ и на интервале Δt_j находим

$$\Delta e_{ks}^{(vp)} = e_{ks}^{(vp)(j+\theta)} \Delta t_j \quad (4)$$

где $0 \leq \theta \leq 1$.

Разлагая в правой части (4) скорость деформации в ряд Тейлора, делая преобразования, получаем

$$\Delta e_{ks}^{(vp)j} = \left[\Phi(f) f_{,\sigma_{ks}} + \theta B_{ksmn}^j \Delta \sigma_{mn}^j \right] \Delta t_j \quad (5)$$

где

$$B_{ksmn}^j = \Phi(f)_{,\sigma_{mn}^j} f_{,\sigma_{ks}^j} + \Phi(f) f_{,\sigma_{ks}^j \sigma_{mn}^j} \quad (6)$$

Используя (1), (2), (5) определяем

$$\Delta \sigma_{ks}^j = \left[\left(D_{ksmn}^{(e)} \right)^{-1} + A_{mnks}^j \right]^{-1} \left(\Delta e_{mn}^j - e_{mn}^{(vp)j} \Delta t_j \right), \quad \text{если } f > 0, \\ \Delta \sigma_{ks}^j = D_{ksmn}^{(e)j} \Delta e_{mn}^j, \quad \text{если } f \leq 0, \quad (7)$$

где $A_{mnks}^j = \gamma \theta \Delta t_j B_{mnks}^j$.

В момент времени t_j , когда стенка и взаимодействующий с ней грунт находятся в мгновенном равновесном состоянии, уравнение виртуальных работ в приращениях напряжений, деформаций и перемещений имеет вид

$$\int_V (\Delta \sigma_{ks}^j \delta \Delta e_{ks}^j - \Delta F_s^j \delta \Delta u_s^j) dV - \int_S \Delta q_s^j \delta \Delta u_s^j dS = 0. \quad (8)$$

Применяя к (8) процедуру метода конечных элементов, определяем систему алгебраических уравнений

$$K^j \Delta u^j = \Delta P^j, \quad (9)$$

где K^j - глобальная матрица жесткости.

При дискретизации и линеаризации исходных уравнений допускаются погрешности, а также неточности вычислений при решении системы (9), поэтому в уравнениях равновесия не будут точно выполняться равенства, т.е. будет наблюдаться невязка

$$\varepsilon(u^j) = K^j u^j - P^j. \quad (10)$$

В общей форме решение этого уравнения можно представить как итерационный процесс

$$u^{j+1} = u^j - A_j^{-1} \varepsilon(u^j), \quad j=1,2,\dots, \quad (11)$$

который заканчивается при

$$\frac{\sum_{i=1}^N e_i^{(vp)(j+1)} \Delta t_{j+1}}{\sum_{i=1}^N e_i^{(vp)(1)} \Delta t_1} \leq \varepsilon_0, \quad (12)$$

где ε_0 - заданная точность решения.

Полученные уравнения нелинейны и могут быть решены только приближенными методами. Для их решения разработан алгоритм, в котором дискретизация уравнений выполнена методом конечных элементов, а линеаризация - методом Ньютона-Канторовича. Для основания и конструкции используются изопараметрические четырехугольные элементы с восемью узлами, а для засыпки и основания применяются также бесконечные элементы с четырьмя - пятью узлами.

В отличие от стационарных задач, здесь необходимо выполнять, кроме дискретизации по x , дискретизацию по времени t . При этом возникают три связанные между собой проблемы: устойчивость решения, выбор начального временного шага и последующих временных шагов. Получены неравенства, ограничивающие характерные параметры $\theta, \Delta t, \Delta e^{(vp)}$, выполнение которых делает итерационный процесс по времени устойчивым.

На основании алгоритма разработан программный комплекс для расчета подпорных сооружений и других конструкций, взаимодействующих с грунтом, на персональных ЭВМ.

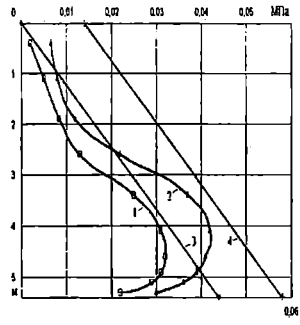
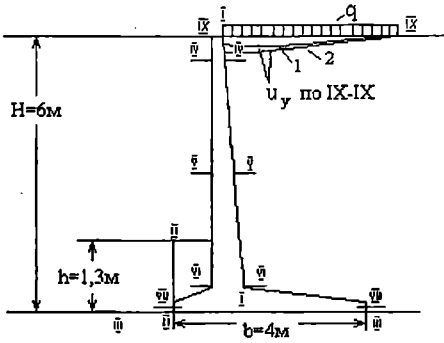
Рассмотрим расчет конструкции, взаимодействующей с грунтом, по предлагаемой методике на конкретном примере уголкового подпорной стенки [4], расчетная схема которой показана на рис. 1, при следующих исходных данных: для конструкции $H = 6$ м, $b = 4$ м, $\gamma = 25$ кН/м³, $E = 3 \cdot 10^4$ МПа, $m = 0,3$, предельные напряжения $\sigma_c = 7$ МПа, $\sigma_p = 0,8$ МПа, модуль упругости $a_k = 20$ МПа; для грунта основания и засыпки $\gamma = 18$ кН/м³, $E_0 = 30$ МПа, $m = 0,4$, $j = 30^\circ$, $c = 0,01$ МПа. Принимается, что в плоскости контакта конструкции стенки и грунта существует их полное сцепление.

Результаты расчета приведены на рис. 2 в виде эпюр контактных напряжений между конструкцией стенки и грунтом основания и засыпки, эпюр перемещений и напряжений в различных сечениях конструкции.

Анализ результатов выполненных расчетов и сопоставление их с данными экспериментов показали, что предлагаемая методика совместного расчета конструкций и взаимодействующего с ними грунта с учетом упругих и пластических свойств их материалов более полно оценивает работу сооружения в целом и позволяет выявлять резервы несущей способности при проектировании и в процессе эксплуатации подобных сооружений.

ЛИТЕРАТУРА

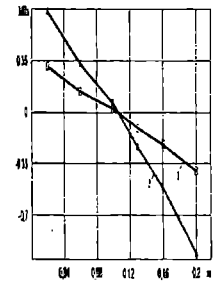
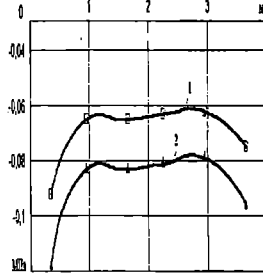
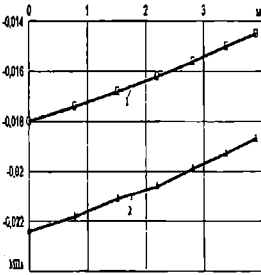
1. Ивлев Д.Д., Быковцев Г.И. Теория упрочняющегося пластического тела. – М.: Наука, 1971. – 231 с.
2. Гришин В.А., Бугаев В.Т. Уругопластические контактные задачи. – Одесса, 1996. – 91 с.
3. Пэжина П. Основные вопросы вязкопластичности. – М.: Мир, 1968. – 176 с.
4. Руководство по проектированию подпорных стен и стен подвалов для промышленного и гражданского строительства. – М.: Стройиздат, 1984. – 116 с.



σ_y по VII-VII

σ_y по V-V

σ_y по VI-VI



σ_y по VII-VII

σ_y по V-V

σ_y по VI-VI

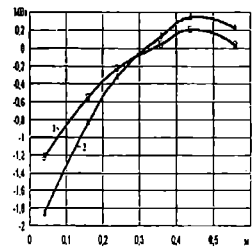
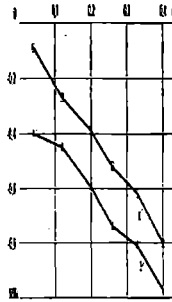
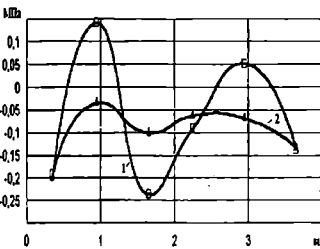


Рис. 2. Результаты расчета уголкового подпорной стенки:
 1, 2 - по предлагаемой методике при $q = 0$ и $q = 0,03$ МПа;
 3, 4 - по нормативным документам при $q = 0$ и $q = 0,03$ МПа

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОГРУЖЕНИЯ СВАИ С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРООСМОСА

В.Т.Бугаев, А.В.Катана, И.Н.Мироненко

Сущность электроосмотического воздействия на грунт состоит в том, что при пропускании постоянного электрического тока в пространстве между погруженными сваями (электродами) вода перемещается от положительного электрода (анода) к отрицательному (катоде), вследствие чего у катода возникает зона водонасыщенного грунта с повышенным поровым давлением. Вблизи свай-анода образуется зона осушенного грунта с пониженной влажностью. В результате обработки грунта постоянным электрическим током прочность грунта и его сопротивление у анода существенно повышается, а у катода, наоборот, понижается, что позволяет решать различные практические задачи по применению электроосмоса.

Одним из наиболее интересных и перспективных аспектов применения электроосмоса является использование его для снижения или повышения трения грунта по контактной поверхности свай с целью ускорения ее погружения или повышения несущей способности.

Для моделирования процесса погружения свай в грунт с помощью электроосмоса в лаборатории кафедры «Инженерные конструкции и водные исследования» Одесского государственного морского университета была специально создана и всесторонне испытана авторами экспериментальная установка [1].

В задачу исследований входило определение основных параметров, влияющих на взаимодействие грунта в различном состоянии с контактной поверхностью свай, погружаемой с помощью электроосмоса, а также установление зависимостей трения грунта по боковой поверхности от различных факторов при электроосмосе.

В ходе эксперимента анализировались параметры режима погружения свай с целью установления его рациональных показателей: диаметра модели свай, расстояния между сваями (анодом и катодом), схемы расположения в плане свай-анодов и их количества, времени погружения свай-катода, величины электрического напряжения и силы тока, расхода электроэнергии и др.

Модели свай были изготовлены из труб из нержавеющей стали диаметром 10, 20 и 30 мм, все одинаковой длины – 60 см. В качестве положительно-

го электрода использовался круглый стержень из нержавеющей стали диаметром 10 мм и длиной 40 см.

Изучение влияния электроосмоса на изменение трения грунта по боковой поверхности сваи проводилось на установке [1] путем погружения модели сваи в глинистый грунт с объемным весом $\gamma = 20 \text{ кН/м}^3$, углом внутреннего трения $\varphi = 18^\circ$, сцеплением $c = 0,12 \text{ МПа}$ и коэффициентом пористости $\epsilon = 0,7$ при разной влажности (от $W = 10\%$ до $W = 40\%$) и разным уплотняющим давлением на грунт (от $\sigma = 10 \text{ кПа}$ до 100 кПа).

Следует отметить, что глинистые грунты обладают высоким потенциалом и являются активной средой для проявления электроосмотических процессов.

Для каждой серии опытов по известной методике [2] подготавливался образец грунта заданной влажности, уточнялись его физико-механические характеристики и определялось омическое сопротивление грунта по методике авторов.

Опыты проводились в такой последовательности: модель сваи и электрод-анод устанавливались в исходное положение в камеру компрессионного прибора экспериментальной установки; приготовленный образец грунта укладывался в компрессионную камеру и послойно уплотнялся; на выровненную поверхность грунта устанавливался штамп, на который прикладывалась через рычажное устройство установки вертикальная нагрузка для создания определенного напряжения в образце грунта; для контроля перемещений штампа и модели сваи устанавливались индикаторы перемещений часового типа с ценой деления $0,01 \text{ мм}$; к модели сваи-катода и электроду-аноду подавался постоянный электрический ток заданного напряжения и силы тока; затем к модели сваи прикладывалась постепенно возрастающая нагрузка с шагом ступени $0,01 \text{ Н}$. После каждой ступени нагрузки на модель сваи, фиксировалось ее вертикальное перемещение. По результатам измерений устанавливались зависимости сопротивления грунта по боковой поверхности сваи от различных факторов: нагрузки на модель сваи, уплотняющего давления на грунт, его влажности и омического сопротивления, диаметра модели сваи, количества электродов-анодов и их расположения, параметров электрического тока и др.

В данной статье приведены результаты, касающиеся снижения трения грунта по боковой поверхности сваи при ее погружении с помощью электроосмоса.

В табл.1 приведены результаты измерений осадки модели сваи диаметром 30 мм и сопротивления грунта по ее боковой поверхности от вертикальной нагрузки на сваю, погружаемую в грунт влажностью $W = 15\%$ с помощью электроосмоса и без него, при трех значениях уплотняющего давления на грунт ($\sigma_1 = 20 \text{ кПа}$, $\sigma_2 = 40 \text{ кПа}$ и $\sigma_3 = 60 \text{ кПа}$) и разным количестве (1,2 и 4) электродов-анодов, расположенных на одинаковом расстоянии – 10 см от сваи-катода.

Как следует из приведенных в табл.1 данных, применение электроосмоса

существенно снижает трение грунта по боковой поверхности сваи. При этом с увеличением числа электродов-анодов наблюдается более значительное уменьшение трения грунта по контактной поверхности сваи при всех значениях нормального давления на грунт.

В свою очередь с увеличением нормального давления на грунт градиент снижения сопротивления грунта по боковой поверхности уменьшается.

Так, при нормальном давлении на грунт $\sigma_1 = 20$ кПа сопротивление грунта по боковой поверхности сваи-катода при ее погружении с помощью электроосмоса с одним электродом-анодом понизилось на 35%, с двумя – на 52% и с четырьмя – на 58% по сравнению с погружением модели сваи без электроосмоса. При $\sigma_2 = 40$ кПа трение грунта по боковой поверхности модели сваи-катода снизилось при электроосмосе на 26%, 39% и 45%, соответственно, с одной, двумя и четырьмя электродами-анодами, а при нормальном давлении $\sigma_3 = 60$ кПа понижение трения грунта по свае-катоде составило 24%, 32% и 38% с одной, двумя и четырьмя сваями-анодами. Это хорошо подтверждается графиками, представленными на рис. 1, которые характеризуют зависимости осадки модели сваи от вертикальной нагрузки на сваю при ее погружении с помощью электроосмоса с одним (кривая – 2), двумя (кривая – 3), четырьмя (кривая – 4) электродами-анодами и без электроосмоса (кривая – 1) при нормальном давлении $\sigma_1 = 20$ кПа, $\sigma_2 = 40$ кПа и $\sigma_3 = 60$ кПа.

На рис. 2 приведены зависимости коэффициента (процента) снижения трения грунта по боковой поверхности модели сваи при электроосмосе от числа электродов-анодов (правый верхний квадрант) и от уплотняющего давления на грунт (левый квадрант).

В нижнем квадранте рис. 2 показаны зависимости сопротивления грунта по боковой поверхности модели сваи от числа электродов-анодов и нормального давления на грунт.

Из анализа зависимостей $k=f(n)$ следует, что коэффициент снижения трения грунта по боковой поверхности модели сваи в значительной степени зависит от числа электродов-анодов (верхний правый квадрант). Графики носят выраженный нелинейный характер и показывают, что с увеличением числа электродов-анодов трение грунта значительно уменьшается. При этом более резкое понижение трения грунта по поверхности сваи при 2-3 электродах-анодах, с дальнейшим увеличением числа электродов-анодов, снижение трения грунта по свае асимптотически затухает. В качестве оптимального числа электродов-анодов следует рекомендовать $n = 2$.

Анализ результатов проведенных экспериментов позволяет отметить следующее:

1. С помощью электроосмоса можно в 1.5 – 2.5 раза снизить трение грунта по боковой поверхности сваи. При этом наиболее существенного снижения трения грунта по свае можно достичь при его влажности в диапазоне 10 – 25 %.

Таблица 1. Зависимости осадки сваи-катода и сопротивления грунта по её боковой поверхности от уплотняющего давления на грунт и числа электродов-анодов

При давлении на грунт $\sigma = 20$ кПа			При давлении на грунт $\sigma = 40$ кПа			При давлении на грунт $\sigma = 60$ кПа			
Сопр. гр по бок. поверх. сваи без эл. осмоса τ , кПа	Сопротив. гр. по бок. поверх. сваи-катода при эл. осмосе с 1 электро-дом-анодом	С 2 электро-дом-анодом	С 3 электро-дом-анодом	С 4 электро-дом-анодом	Сопр. гр по бок. поверх. сваи без эл. осмоса τ , кПа	Сопротив. гр. по бок. поверх. сваи-катода при эл. осмосе с 1 электро-дом-анодом	С 2 электро-дом-анодом	С 3 электро-дом-анодом	С 4 электро-дом-анодом
8.7	5.7	4.7	3.8		10.9	7.6	6.3	5.6	
10.1	6.6	4.9	3.9		12	8.3	6.9	6.3	
10.6	6.9	5.1	4.2		12.3	8.8	7.4	6.7	
10.8	7.2	5.2	4.2		12.5	9	7.8	7	
10.8	7.3	5.3	4.5		12.8	9.3	8	7.2	
11	7.4	5.3	4.6		13	9.4	8.1	7.2	
					13.9	9.7	8	7.5	
					15.1	11.6	10.2	9.4	
					15.4	11.9	10.8	9.8	
					15.6	12	10.8	10.1	
					15.6	12	10.9	10.1	
					15.6	12.1	10.9	10.1	

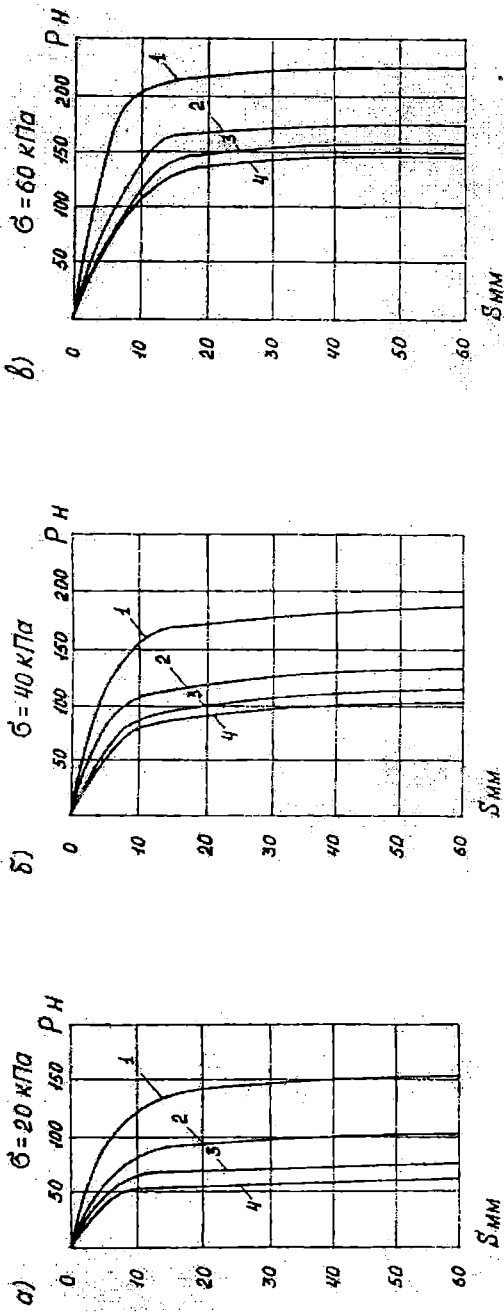


Рис.1. Графики статических испытаний модели сваи, погружаемой с помощью электроосмоса и без него:
 а, б, в – при нормальном уплотняющем давлении на грунт $\sigma = 20 \text{ кПа}$, $\sigma = 40 \text{ кПа}$, $\sigma = 60 \text{ кПа}$;

1 – погружение модели сваи без электроосмоса;

2, 3, 4 – погружение модели сваи-катода с помощью электроосмоса с одним, двумя и четырьмя электродами-анодами

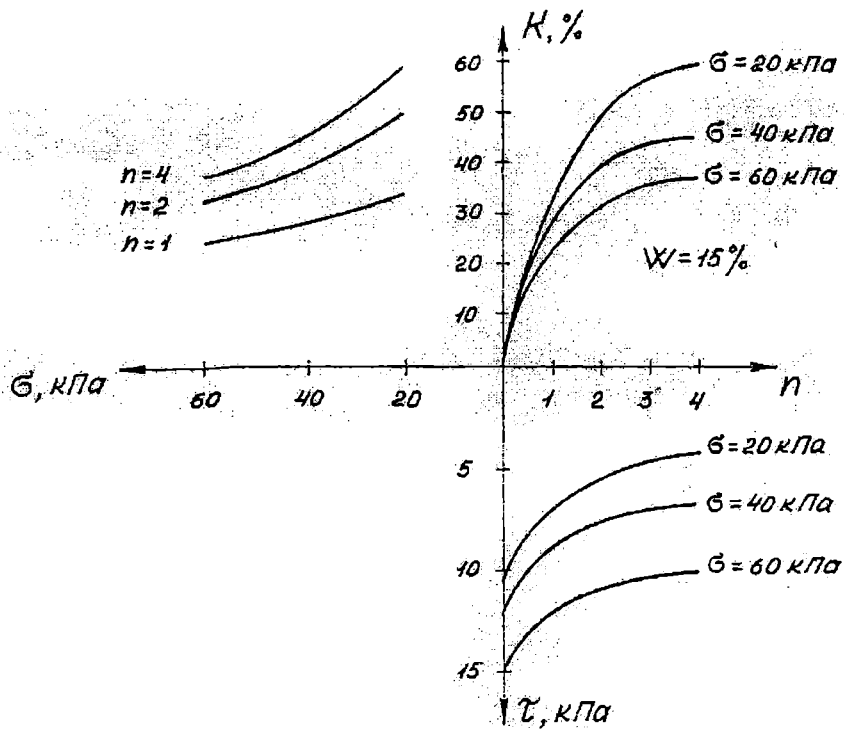


Рис.2. Зависимости коэффициента k снижения трения грунта по боковой поверхности свай от числа n электродов-анодов и уплотняющего давления на грунт σ

2. Наблюдается плавное возрастание расхода электроэнергии по мере увеличения расстояния между погружаемой свай-катодом и электродом-анодом и уменьшения влажности грунта. По мере увеличения электрического напряжения уменьшается время погружения свай-катада, но одновременно возрастает расход электроэнергии.

Можно рекомендовать такой наиболее рациональный режим электроосмоса при погружении свай в глинистые грунты:

- электрическое напряжение должно быть в интервале 40 – 50 В;
- расстояние между погружаемой свай-катодом и электродом-анодом – $(1 - 1,5)l$, где l -длина свай;

- минимальное число электродов-анодов – 2.

Проведенные эксперименты позволили уточнить методику их проведения, расширить круг исследуемых вопросов, например:

- для погружения и извлечения свай, шпунта, оболочек, обсадных труб и других конструкций с большим сопротивлением по боковой поверхности в условиях слабофильтрующих и плотных грунтов;

- для повышения несущей способности свай, погруженных в слабые глинистые и илистые грунты, а также свайного основания эксплуатируемых причальных сооружений эстакадного типа;

- для водопонижения и упрочнения слабых грунтов;

- для восстановления дренажных систем и др.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бугаев В.Т., Мироненко И.Н. Экспериментальная установка для исследования электроосмоса при погружении моделей свай // Будівельні конструкції. Міжвідомчий науково-технічний збірник. Механіка ґрунтів та фундаментобудування.-Київ,2000.-Вип.53.-С.39-42.
2. Воробьев В.Л. Лабораторный практикум по общему курсу строительных материалов. -М.: Высшая школа, 1978.-205с.

СОВРЕМЕННЫЕ КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ КАК ОСНОВА РАЗВИТИЯ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРИЧАЛЬНОГО ФРОНТА УКРАИНЫ

М.П. Дубровский, М.Б. Пойзнер, В.Н. Петросян

В структуре водного транспорта Украины морские порты занимают одно из ведущих мест наряду с флотом и судоремонтными предприятиями. В связи с этим для разработки обоснованной технической политики их развития практический интерес представляет анализ эксплуатационного состояния причального фронта, который дает достоверную информацию для перспективного планирования нового строительства и реконструктивных мероприятий. Не менее важными являются объективные данные о современном уровне конструкторско-технологических решений, успешно и эффективно применяемых в мировой практике портостроения. Синтез опыта, приобретенного отечественными проектировщиками и строителями на Черноморско-Азовском бассейне, с передовыми зарубежными технологиями даст возможность обеспечить украинские порты современными и, что не менее важно в настоящее время, доступными по уровню необходимых капиталовложений причальными сооружениями.

Современный причальный фронт страны представлен конструкциями, которые возведены, в основном, в послевоенный период. Наиболее распространенными конструктивными решениями являлись свайные эстакады, включая оторочки, и заанкерованные больверки из шпунта (табл. 1).

Эстакадные конструкции возведены на свайных полях из предварительно напряженных железобетонных свай и стальных труб. Из них 82% составляют причалы на призматических сваях, 12% - на железобетонных сваях-оболочках диаметром 1,6 м и 6% - на металлических трубах. Заанкерованные больверки устроены в большинстве случаев из металлического шпунта корытного профиля типа Ларсен.

Если 50-60 годы характеризовались возведением конструкций эстакадного типа, то последующие десятилетия отличает переход к конструкциям типа больверк, а в ряде случаев - к смешанным конструкциям, сочетающим оба этих типа.

Одной из основных причин морального старения причальных сооружений является развитие новых видов перевозок и, соответственно, появление но-

вых типов судов. Реорганизация структуры управления флотом Украины привела к изменениям судов-представителей, посещающих порты страны.

Таблица 1. Распределение причальных сооружений морских портов Украины по типам конструкций

Тип конструкции	Доля в общем причальном фронте, %
Свайные эстакады, включая оторочки	54,5
Больверки и др. тонкие стенки	32,6
Гравитационные сооружения	10,6
в том числе :	
Массивовая кладка	6,9
Угловые стенки	1,6
Оболочки большого диаметра	2,1
Прочие	2,3

Примечание: проанализированы данные о 244 причалах по 18 морским портам Украины (исключая порт пункты).

Как показывает анализ структуры флота, посещающего порты Украины, наиболее представительной долей флота являются суда, для приема которых следует обеспечить глубины у причалов в интервале от 11,5 до 14,0 м. Слабым звеном в структуре глубин на 2001-2005 гг. являются глубины в интервале от 13 до 15 м.

Результаты анализа эксплуатационных параметров причальных сооружений приведены в таблице 2.

Таблица 2. Срок эксплуатации и степень временного износа причальных сооружений

Срок эксплуатации, лет	Степень временного износа	Доля в причальном фронте страны, %
Более 50	0,86—1,08	4,9
40—50	0,69—0,86	6,6
30—40	0,52—0,69	20,0
20—30	0,35—0,52	34,8
10—20	0,17—0,35	22,9
До 10	0—0,17	10,75

Таким образом, основное количество причалов портов Украины характе-

ризуется продолжительностью функционирования от 20 до 40 лет, и практически все они не исчерпали нормативный срок службы. Это позволяет обсуждать возможность, целесообразность и особенности модернизации, усиления и реконструкции эксплуатируемых сооружений, которые нуждаются в таких мероприятиях.

Анализ деятельности морских портов страны за последние три года позволяет сделать парадоксальный, на первый взгляд, вывод о том, что при неуклонном росте грузооборота портов техническое состояние причалов (т.е. сооружений, обеспечивающих этот рост) последовательно ухудшалось. Однако можно определить ряд причин, объясняющих этот процесс:

- ухудшение технического состояния причальных сооружений из-за нарушения правил их технической эксплуатации (превышение максимально допустимых эксплуатационных нагрузок, нерегламентированный навал судов при подходе к причалу и др.)
- отсутствие достаточных средств на проведение необходимых реконструктивных мероприятий;
- нарастание процессов физического и морального износа, связанных со сроком эксплуатации сооружений.

Дальнейшее наращивание грузооборота портов в настоящее время невозможно без реконструкции (усиления) определенной части причального фронта и/или строительства нового. Реальные темпы осуществления программы реконструкции и строительства причального фронта в украинских портах за последние три года показаны на диаграммах (рис. 1.).

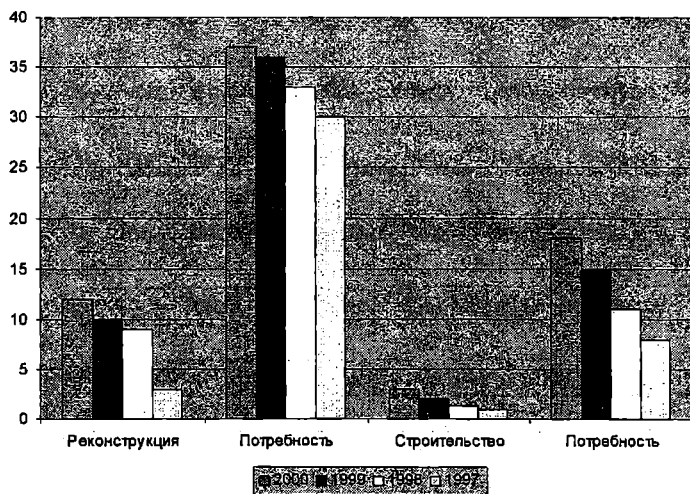


Рис.1. – Реализация программы реконструкции и строительства причального фронта

Основными особенностями предстоящей реконструкции причального фронта украинских морских портов являются:

- наличие старых и ранее реконструированных частей элементов конструкций времен 1880-1930 гг., выполненных в основном из дерева
- низкая несущая способность набережных-эстакад на железобетонных призматических сваях со значительными разрушениями как живого сечения свай, так и их рабочей арматуры
- использование в существующих сооружениях тонких стенок из некондиционных элементов с невысокой несущей способностью.

Эти обстоятельства, а также требование минимизации затрат обуславливают нестандартный концептуальный подход к решению проблемы реконструкции в целом.

Как показывает анализ эксплуатационной деятельности портов, степень эффективности работы причальных сооружений закладывается еще на стадии проектирования, когда определяют конструкцию сооружения и его основные параметры.

На сегодняшний день основными причинами, обуславливающими несоответствие эксплуатируемого причального фронта потребностям флота, являются недостаточные глубины у причалов, устаревшая перегрузочная техника, несовременные технологии переработки грузов.

Для преодоления указанного несоответствия могут быть применены два основных подхода. Первый подход - строительство новых причалов - характерен для молодых развивающихся глубоководных портов (в Украине это, например, порт Южный или запланированный к строительству порт Таврида на озере Донузлав в Крыму).

Второй подход - реконструкция и усиление существующего причального фронта. В этом случае (если сравнивать реконструктивные мероприятия с проведением нового строительства в пределах одного порта) можно выделить ряд позитивных факторов:

- в существенно меньшей степени подвергается негативному воздействию окружающая среда
- не требуются значительные капиталовложения в развитие инфраструктуры порта и, в частности, в устройство коммуникаций
- с меньшими затратами может быть обеспечена современная технология перегрузочных работ
- производство строительных работ осуществляется более эффективно и экономично.

Второй подход, как показывает практика Одесского, Ильичевского, Мариупольского и некоторых других портов, является вполне приемлемым и эффективным.

В связи с изложенным целесообразно выделить основные факторы, определяющие возможность получения оптимального реконструктивного реше-

ния. На наш взгляд, к ним могут быть отнесены следующие:

- новые обоснованные планировочные, технологические и экологические требования к причальному сооружению
- объективная оценка влияния того или иного способа реконструкции на перераспределение напряженно-деформированного состояния между существующими конструктивными элементами причального сооружения и примененными элементами реконструкции, как в процессе строительства, так и в последующий эксплуатационный период (как показывают проведенные исследования, только за счет использования несущей способности существующей конструкции сооружения капиталовложения в реконструкцию причала можно уменьшить на 25-35%)
- возможность строительных организаций качественно реализовать разрабатываемое реконструктивное решение.

В практике проектирования реконструкции портовых сооружений встречаются почти все известные типы конструкций причалов: гравитационные в различном конструктивном исполнении; тонкие стенки (заанкеренные и незаанкеренные больверки) с различными экранирующими и разгружающими устройствами; свозные (свайные ростверки и эстакады) и пр.

Разнообразие конструкций причалов создает определенные трудности при выборе их оптимального реконструктивного решения. В связи с этим при разработке проекта важно точно определить основные цели реконструкции, получить объективную оценку технического состояния существующего сооружения, историю загрузки его эксплуатационными нагрузками.

Основными целями реконструкции, как правило, являются увеличение глубины у причала, повышение категории эксплуатационных нагрузок, замена перегрузочного оборудования или вышеуказанные цели в комплексе.

Наиболее эффективным проект реконструкции причального сооружения получается в том случае, когда обеспечено максимальное использование несущей способности элементов существующей конструкции. Как показали проведенные исследования, обеспечить такой подход позволяет использование оторочки, возводимой впереди существующего причального сооружения.

Сравнительный анализ зарубежного и отечественного опыта реконструкции причальных сооружений путем создания оторочек показал, что во многих случаях наиболее технологичным и экономичным решением является возведение оторочек на буронабивных сваях.

Ряд реализованных только за последние годы зарубежных проектов, основанных на применении современного бурового оборудования (США, Индия, Эстония, ОАЭ, Оман, Ливан и др.), позволил минимизировать как затраты на реконструкцию сооружения, так и период его вывода из эксплуатации.

Практика показывает, что буронабивные сваи обеспечивают наиболее экономичное решение при больших вертикальных и/или горизонтальных нагрузках. Весьма эффективно они используются при реконструкции эстакад

путем создания дополнительных несущих опор. Такой подход может лечь в основу реконструктивных решений многочисленных свайных эстакад на призматических сваях, эксплуатирующихся в портах Украины и достигших значительной степени физического и морального износа.

Применение буронабивных свай особенно эффективно в тех случаях, когда невозможно использование забивных, вибрационных или подмывных устройств из-за опасности вызвать оползневые явления, сотрясения грунта или его вымыв. Скважины для устройства буронабивных свай могут быть образованы простым бурением шнеком (в плотных грунтах), бурением через обсадную трубу (в рыхлых грунтах) и некоторыми другими способами.

Сравнительный анализ стоимостных показателей двух возможных вариантов реконструкции причальных сооружений (шпунтовая оторочка и оторочка на буронабивных сваях) применительно к условиям Украины показал возможность 20%-50% экономии средств и существенного снижения сроков проведения работ (рис. 2). Этот вывод остается справедливым и при оценке эффективности возможных подходов к новому строительству. При этом следует отметить, что эффективность и экономичность подхода, основанного на применении буронабивных свай, возрастает по мере увеличения длины реконструируемого (либо вновь возводимого) причального фронта или количества реконструируемых (вновь возводимых) причалов.

Одним из эффективных решений при реконструкции причалов типа «больверк» либо при устройстве шпунтовых оторочек является применение грунтовых анкеров. Уже много лет грунтовые анкера, разработанные и внедренные в практику строительства и реконструкции немецкой фирмой «БАУЭР», являются наиболее широко используемым геотехническим средством крепления тонких стен практически в любых инженерно-геологических условиях. Наиболее эффективно грунтовые анкера могут быть использованы при строительстве причалов распорного типа в стесненных условиях (ограниченная территория позади причальной стенки, не дающая возможности создать традиционную анкерную опору с необходимой несущей способностью), а также при последующих (второй и т.д.) реконструкциях сооружения, когда пространство позади оторочки перенасыщено ранее возведенными конструктивными элементами.

Изучение опыта эксплуатации и анализ перспектив технического развития портов позволяют заключить, что проблемы эффективного и экономичного строительства, а также усиления и реконструкции причального фронта приобрели весьма важное значение, особенно в связи с ограниченностью финансовых возможностей украинских портов.

Изложенные выше соображения позволяют определить следующие целесообразные направления решения поставленных задач:

- использование при строительстве и реконструкции причальных сооружений современных конструкторско-технологических решений с учетом позитивного мирового опыта в этой области (в частности, применение

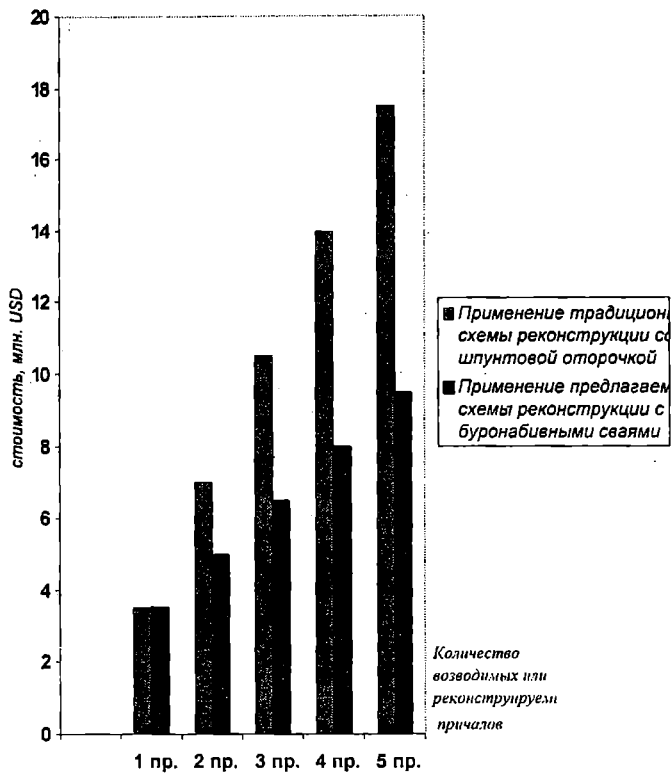


Рис. 2. Диаграмма изменения суммарных затрат порта за период реконструкции пяти причалов-эстакад при использовании традиционного и предлагаемого методов реконструкции

- буронабивных свай высокой несущей способности и грунтовых анкеров)
- широкое внедрение новых технологических способов строительства, основанных на использовании современных высокопроизводительных механизмов и оборудования (обеспечивающих, в том числе, возможность устройства буронабивных свай диаметром до 3 м, длиной 30-40 м, а также грунтовых анкеров с практически неограниченной несущей способностью)
- использование современных высокопрочных материалов (надежных, долговечных и технологичных) в специфических условиях гидротехнического

строительства

- применение наиболее эффективных технических решений реконструкции, позволяющих выполнять строительные работы без вывода причалов из эксплуатации или с минимальным сроком вывода.

Реальная возможность внедрения передовых технологий и конструкторско-технологических решений в практику отечественной портовой гидротехники позволяет при минимизации затрат осуществить программу строительства и реконструкции причальных сооружений эффективно и в сжатые сроки.

ОЦЕНКА ИСХОДНОЙ ПРОЧНОСТИ ДЕТАЛЕЙ, РАЗРУШИВШИХСЯ ПРИ ЦИКЛИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ

Н.В. Олейник, А.Н. Шумило

Двухзвенная кривая многоциклового усталости новой формы с левым участком согласно степенной функции и правым участком согласно унифицированной функции Вейбулла открывает перспективу для решения ряда практических задач. Одной из таких задач является задача определения исходной прочности разрушившейся в эксплуатации детали, а заодно и выбора материала по условию предельно полного его использования [1].

Пусть для известных размеров и формы детали известен или задан режим нагружения, т.е. спектр внешних нагрузок, по которому определен спектр напряжений в опасных сечениях и требуется найти исходные характеристики сопротивления усталости разрушившейся детали по наблюдаемым суммарной наработке N_{Σ} и длительностям действия n_i каждого из напряжений спектра или, исходя из режима и требуемой наработки N_{Σ} , подобрать материал, оптимально соответствующий принятым условиям. При допущении, что верхняя точка пересечения левого и правого участков кривой усталости имеет своей ординатой максимальное напряжение σ_1 спектра (здесь и далее под σ понимается как нормальное, так и касательное напряжение), можно ориентировочно оценить потребный предел выносливости σ'_R детали [1], приравняв абсциссы N_1 по левому и правому участкам из уравнения

$$10^{F(\sigma_R)} / \sigma_1^{f(\sigma_R)} = 10^{F'(\sigma_R)} / (\sigma_1 - \sigma_R), \quad (1)$$

где $F(\sigma_R)$, $f(\sigma_R)$ и $F'_w(\sigma_R)$ - зависимости параметров степенной и унифицированной функций от предела выносливости [1-7]. Согласно уравнению (1) искомый предел выносливости получает одно и то же значение (обозначим его σ'_R), определяемое коэффициентами указанных зависимостей и не отражает прочности конкретной детали (разные детали при одном и том же

напряжении σ_1 могут иметь разные долговечности N_1 , а значит, и разные пределы выносливости σ_R). Поэтому оценка предела выносливости σ_R конкретной детали величиной σ'_R является ориентировочной, подлежащей в дальнейшем уточнению.

Действительный многоступенчатый с k ступенями напряжений σ_i спектр сведем к эквивалентному двухступенчатому спектру с максимальным напряжением σ_1 , равным максимальному напряжению действительного спектра, неизменной суммарной наработкой N_Σ и минимальным напряжением σ_2 как эквивалентом всех напряжений действительного спектра от второго до последнего [1,2].

Для эквивалентного двухступенчатого спектра известными будут напряжение σ_1 , наработка n_1 при этом напряжении, суммарная наработка N_Σ (получена из опыта либо задана), а неизвестным — напряжение σ_2 . При этом наработка n_2 на уровне σ_2 тоже будет известной и равной $n_2 = N_\Sigma - n_1$, что позволяет относительные длительности действия напряжений σ_1 и σ_2 эквивалентного спектра $\beta_1 = n_1 / N_\Sigma$ и $\beta_2 = n_2 / N_\Sigma$ считать для заданного режима нагружения постоянными, сохраняющими свои значения при возможных изменениях N_Σ (а значит и n_1, n_2).

Долговечность N'_1 на уровне σ_1 как абсциссу точки пересечения участков кривой усталости удобнее всего при известном σ'_R подсчитать по формуле [1,2]

$$N'_1 = 10^{5.1} / (d' - 1), \quad (2)$$

где $d' = \sigma_1 / \sigma'_R$. Найдя долговечность N'_1 из формулы (2), можно было бы двухступенчатый режим легко свести к регулярному режиму с напряжением σ_1 , если знать напряжение σ'_R . Формула сведения согласно уравнению правого участка и линейной гипотезе суммирования повреждений по предельному состоянию будет иметь вид [1,2]

$$(\sigma_1 - \sigma'_R)n'_1 + (\sigma_2 - \sigma'_R)n'_2 = (\sigma_1 - \sigma'_R)N'_1$$

или

$$n'_1 + \frac{f' - 1}{d' - 1} n'_2 = N'_1, \quad (3)$$

где $f' = \sigma'_2 / \sigma'_R$, а $d' = \sigma_1 / \sigma'_R$. Поскольку напряжение σ'_2 , соответствующие пределу выносливости σ'_R , пока неизвестно, то отношение

$(f' - 1)/(d' - 1) = g'$ остается неопределенным.

Перепишем выражение (3) в несколько ином виде

$$N'_\Sigma = N' / (\beta_1 + g'\beta_2). \quad (4)$$

Из анализа выражения (4) видно, что при постоянных величинах N'_Σ, N'_1, β_1 и β_2 , должно быть постоянным для данного режима нагружения и найденного из уравнения (1) предела выносливости σ'_R и отношение g' . Если выражение (4) представить как

$$\frac{N'_1}{N'_\Sigma} = \beta_1 + g'\beta_2, \quad (5)$$

то станет очевидным, что при постоянном отношении g' будет постоянным и отношение N'_1 / N'_Σ . Постоянство последнего согласно формуле (5) позволяет варьировать долговечностями N'_1 и N'_Σ в широких пределах. Например, при отличии долговечности N'_Σ от долговечности N_Σ , наблюдаемой в опыте или наперед заданной, следует долговечность N'_Σ довести до N_Σ и пропорционально изменить долговечность N'_1 , довести ее до N_1 . Долговечность N'_1 соответствует пределу выносливости σ'_R , долговечность N_1 должна соответствовать пределу выносливости σ_R рассматриваемой детали. Этот предел, соответствующий получаемой из опыта или заданной наработке N_Σ рассчитывается по формуле [1-3]

$$\sigma_R = \sigma_1 / \left(1 + 10^{5.1} / N_1\right). \quad (6)$$

Тем самым определяется исходная прочность детали, вышедшей из строя в эксплуатации вследствие усталостной поломки. Если задача сводится к выбору материала детали по наперед заданной наработке N_Σ и режиму нагружения, то, найдя потребный предел выносливости σ_R детали по формуле (6), с учетом размеров и формы детали оцениваем предел выносливости материала и по нему подбираем материал [3].

Для вычисления отношения g' по пределу выносливости σ'_R вычисляем напряжение σ'_2 эквивалентно режима, записав уравнение правого участка кривой усталости в виде

$$(\sigma_1 - \sigma'_R)N'_1 = (\sigma_2 - \sigma'_R)N'_2, \quad (7)$$

для которой долговечность N'_2 находим из условия суммирования поврежде-
ний по линейной гипотезе $n'_1/N'_1 + n'_2/N'_2 = 1$

$$N'_2 = N'_1 n'_2 / (N'_1 - n'_1).$$

Тогда на основании выражения (7) получаем

$$\sigma'_2 = \sigma'_R + (\sigma_1 - \sigma'_R) [(N'_1 - n'_1) / n'_2], \quad (8)$$

а с учетом выражения (8) находим отношение g'

$$g' = \frac{\sigma'_2 / \sigma'_R - 1}{\sigma_1 / \sigma'_R - 1}. \quad (9)$$

Приравнявая отношение g' из формулы (9), отвечающие пределу вы-
носливости σ'_R , к отношению g , отвечающему пределу выносливости σ_R , рас-
сматриваемой детали, найдем для нее отношение $f = \sigma_2 / \sigma_R$

$$f = 1 + g(d - 1), \quad (10)$$

где $d = \sigma_1 / \sigma_R$.

Отношение f , найденное по формуле (10), однозначно определяет на-
пряжение $\sigma_2 = f\sigma_R$ рассматриваемой детали и ее долговечность N_2 — ко-
нечную величину, которая всегда будет больше потребной наработки N_x —
тоже конечной величины. Это следует из того, что в соответствии с линейной
гипотезой суммирования повреждений для двухступенчатого эквивалентного
режима N_2 должна быть долговечностью до разрушения, иначе такой режим
просто выродился бы в регулярный с напряжением σ_1 . Уравнение Вейбулла
как модель правого участка кривой усталости теоретически позволяет опер-
ировать неограниченно большими долговечностями и исходить из того, что
напряжение σ_2 , безусловно, является повреждающим, так как превосходит
предел выносливости — величину, отвечающую бесконечно большой долго-
вечности. В наличии аналитической зависимости долговечности от напряже-
ния для правого участка заключается существенное преимущество кривой
усталости новой формы по сравнению с традиционной кривой.

Для проверки разработанной методики оценивания исходной прочности
деталей по наблюдаемой наработке N_x были использованы результаты испы-
таний автомобильных полуосей диаметром 50 мм, изготовленных из стали
40Х, при симметричном кручении [8]. В таблице 1 приведены результаты
испытаний полуосей при регулярном нагружении и вычисленные по формуле
(6) их индивидуальные пределы выносливости, а в таблице 2 — результаты
испытаний полуосей при нерегулярном нагружении по восьмиступенчатым

программам различной интенсивности и найденные по описанной методике индивидуальные пределы выносливости.

Результаты испытаний исследованной партии полуосей свидетельствуют о весьма значительном рассеянии их усталостных свойств. Тем не менее можно утверждать, что данные испытаний при регулярном нагружении удовлетворительно согласуются с данными испытаний при нерегулярном нагру-

Таблица 1. Индивидуальные пределы выносливости τ_{-1} полуосей, изготовленных из стали 40X, при регулярном симметричном кручении

τ , МПа	Долговечность до разрушения $N \times 10^{-6}$ циклов	τ_{-1} , МПа
300	0,070	107,2
260	0,180	152,2
230	0,182	135,9
220	0,250	146,2
184	1,050	164,3
160	1,450	147,2
120	2,170	113,1
118	10,190	116,5
100	2,160	94,2
100	4,080	97,0

жении. И если первые по показателям индивидуальных характеристик сопротивления усталости хорошо отражают опытные долговечности и применительно к наименее прочным полуосям совпадают с оценками автора, то и вторые заслуживают такого же доверия.

Тем более, что проверка разработанной методики определения исходной прочности по факту разрушения многих других деталей (в таблицах 1 и 2 представлены самые нестабильные результаты испытаний) подтвердила приведенные выше доводы. Это означает, что разработанные ранее теоретические положения оценки индивидуальных свойств характеристик сопротивления усталости стальных деталей [2,3] с успехом можно применять при назначении материала для проектируемых деталей по наперед заданной наработке N_z и известным режимам нерегулярного нагружения и тем обеспечивать наиболее полное исчерпание его прочностных резервов. В свете современных требований к сбережению материально-энергетических ресурсов в машиностроении данная проблема приобретает весьма актуальное значение.

Таблица 2. Индивидуальные пределы выносливости τ_1 , определенные по экспериментальным данным испытаний автомобильных полуосей, изготовленных из стали 40Х, при нерегулярном симметричном кручении

Режим нагрузки	$\tau_1, \text{МПа}_1$	$N_{\Sigma} \times 10^{-6}$	β_1	$\tau_1, \text{МПа}$
1	288	2,010	0,00329	161,1
1	288	1,525	0,00329	141,3
1	288	1,125	0,00329	119,7
1	288	1,190	0,00329	123,6
1	288	2,950	0,00329	187,4
2	245	4,930	0,00329	175,4
2	245	2,170	0,00329	128,9
2	245	1,730	0,00329	115,1
3	202	4,630	0,00329	125,5
3	202	2,530	0,00329	102,1
3	202	6,270	0,00329	144,8
3	202	7,620	0,00329	152,5
4	210	1,380	0,00318	136,5
4	210	1,760	0,00318	147,7
4	210	0,426	0,00318	111,8
4	210	1,309	0,00318	134,1
4	210	0,995	0,00318	129,3
4	210	3,740	0,00318	151,5
4	210	4,040	0,00318	152,5
5	200	10,750	0,00318	162,2
5	200	11,750	0,00318	164,8
5	200	2,560	0,00318	101,0
5	200	3,730	0,00318	119,6
5	200	5,860	0,00318	140,0
5	200	3,310	0,00318	113,6
5	200	2,070	0,00318	90,4

ЛИТЕРАТУРА

1. Олейник Н.В., Шумило А.Н. Выбор материала деталей по заданной наработке // Тема. — 1999. — Вып.3.—С.10-18.
2. Олійник М.В., Омельченко Ю.М., Немчук О.О. Конструкційна міцність деталей за результатами випробувань і розрахунків. — Одеса: АстроПринт 1999.— 152 с.
3. Олейник Н.В. Высокопроизводительные испытания на усталость и

- оценка индивидуальных характеристик сопротивления усталости.*
— Одеса: АстроПринт, 1999. — 184 с.
4. Олейник Н.В., Степуренко Ю.В., Курочкин Л.Я. *Сопротивление усталости конструкционных сталей в различных средах* — Одеса: АстроПринт, 2000. — 280 с.
 5. Олейник Н.В., Коноплев А.В. *Ускоренное определение характеристик сопротивления усталости материалов и деталей // Заводская лаборатория.* — 1994. — № 11. — С. 51-54
 6. Олейник Н.В., Магденко А.Н., Скляр С.П. *Сопротивление усталости материалов и деталей в коррозионных средах.* — К.: Наук. думка, 1987. — 200 с.
 7. Олейник М.В., Курочкин Л.Я. *Сопротивление усталости стальных конструкций в морской воде.* - Одесса: АстроПринт, 1999. - 168 с.
 8. Буглов Е.Г. *Испытания на усталость и оценка эксплуатационной долговечности автомобильных полуосей.* — *Механическая усталость в статистическом аспекте.* — М.: Наука, 1969. — С.97-111.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ФЛОТА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫМИ РЕЙСАМИ

А.И. Лапкин

Оценка эффективности работы флота в рейсах, в том числе на линиях и направлениях, в соответствии с отечественной практикой последних десятилетий, производится по показателям прибыли и чистой валютной выручки за календарный период [1. С.80,81; 2. С.85].

Работой флота последовательными рейсами является такая форма организации перевозок, при которой одно или несколько судов в течение оговоренного периода времени работают на перевозках массовых грузов между постоянными портами [3]. При такой форме организации обеспечивается регулярная перевозка товаров на заданном направлении, исходя из потребностей клиентуры на основе длительных межправительственных или торгово-экономических соглашений.

Такая организационная форма позволяет добиваться высокой специализации всего перевозочного процесса, начиная со специализации перегрузочных комплексов в портах погрузки и выгрузки и заканчивая строительством узкоспециализированного флота для этих перевозок. Особенности подобной организационной формы создают условия для обеспечения ритмичности перевозок и равномерной загрузки портов.

Работа флота последовательными рейсами в силу перечисленных присутствующих ей специфических особенностей требует использования такого показателя эффективности, который учитывает эти особенности.

Поскольку работа флота последовательными рейсами в самом общем виде представляет форму судоходства, основной задачей которой является максимальное обеспечение перевозок предъявляемых грузов, исходя из потребностей клиентуры, цель компании-судовладельца при осуществлении подобных перевозок направлена на получение максимальной прибыли за счет оптимизации перевозок предъявляемого количества груза.

В качестве показателя эффективности работы судов последовательными рейсами на заданном направлении целесообразно использовать значение суммарной полученной прибыли за период T , которую предлагается рассчитывать по следующей формуле:

$$\Pi_T = \frac{\sum_i \sum_j (TЧЭ_{ij} - r_{ij}^{ном}) \cdot T_{ij}^{рейса}}{\sum_i \sum_j T_{ij}^{рейса}} \cdot T, \quad (1)$$

где i – индекс судна, занятого на перевозках на заданном направлении;

j – индекс схемы работы судов на заданном направлении;

$TЧЭ_{ij}$ – суточное значение тайм-чартерного эквивалента при выполнении i -м судном рейса по j -й схеме на заданном направлении;

$r_{ij}^{ном}$ – суточное значение норматива постоянных расходов при выполнении i -м судном рейса по j -й схеме движения;

$T_{рейса_{ij}}$ – продолжительность рейса i -го судна по j -й схеме движения;

T – временной интервал, за который производится оценка эффективности работы судов на направлении.

Расчет суточного значения показателя тайм-чартерного эквивалента производится по следующей формуле:

$$TЧЭ_{ij} = \frac{F_{ij} - R_{ij}^{неп}}{T_{рейса_{ij}}}, \quad (2)$$

где F_{ij} – доходы i -го судна за рейс по j -й схеме движения (сумма фрахта),

$R_{ij}^{неп}$ – переменные расходы i -го судна за рейс по j -й схеме движения.

По результатам работы судов на направлении должен производиться комплексный анализ, который включает оценку влияния различных эксплуатационно-экономических факторов на показатель эффективности и определение экономических показателей перевозки из каждого порта направления по основным схемам.

Проведение факторного анализа экономических показателей работы производственного объекта предполагает постепенный переход от результативного показателя (исходной факторной системы) к конечной факторной систе-

ме (или наоборот), раскрытие полного набора прямых, количественно измеримых факторов, оказывающих влияние на изменение результативного показателя. При прямом факторном анализе выявляются отдельные факторы, влияющие на изменение результативного показателя, устанавливаются формы зависимостей между результативным показателем и определенным набором факторов и, наконец, выясняется роль отдельных факторов в изменении результативного экономического показателя. Применим методы количественного анализа влияния факторов на изменение результативного показателя работы судна на направлении.

Прибыль при совершении судном i рейса на направлении j (Π_{ij}) рассчитывается по следующей формуле:

$$\Pi_{ij} = (TЧЭ_{ij} - r_{ij}^{пост}) \cdot T_{ij}^{рейса} \quad (3)$$

Воспользуемся логарифмическим методом количественного анализа факторов [4. С. 124-127], приняв к рассмотрению два фактора, влияющие на итоговое значение показателя (1): $TЧЭ_{ij} - r_{ij}^{пост}$ и $T_{ij}^{рейса}$.

$$\begin{aligned} \lg \frac{\Pi_{ij}^1}{\Pi_{ij}^0} &= \lg \Pi_{ij}^1 - \lg \Pi_{ij}^0 = \lg(TЧЭ_{ij}^1 - r_{ij}^{пост1}) + \lg T_{ij}^{рейса1} - \lg(TЧЭ_{ij}^0 - r_{ij}^{пост0}) - \\ &- \lg T_{ij}^{рейса0} = \lg \frac{TЧЭ_{ij}^1 - r_{ij}^{пост1}}{TЧЭ_{ij}^0 - r_{ij}^{пост0}} + \lg \frac{T_{ij}^{рейса1}}{T_{ij}^{рейса0}}. \end{aligned}$$

Обозначив через $\Delta \Pi_{ij}$, $\Delta(TЧЭ_{ij} - r_{ij})$, $\Delta T_{ij}^{рейса}$ - абсолютные изменения соответственно результативного показателя и факторов, а через $\delta(TЧЭ_{ij} - r_{ij})$, $\delta T_{ij}^{рейса}$ - относительные изменения факторов, получим

$$\lg \frac{\Pi_{ij}^0 + \Delta \Pi_{ij}^0}{\Pi_{ij}^0} = \lg \frac{(TЧЭ_{ij}^0 - r_{ij}^0) + \Delta(TЧЭ_{ij}^0 - r_{ij}^0)}{TЧЭ_{ij}^0 - r_{ij}^0} + \lg \frac{T_{ij}^{рейса0} + \Delta T_{ij}^{рейса0}}{T_{ij}^{рейса0}} \text{ или}$$

$$\begin{aligned} \lg(1 + \delta \Pi_{ij}^0) &= \lg \left[1 + \frac{\Delta(TЧЭ_{ij}^0 - r_{ij}^0)}{TЧЭ_{ij}^0 - r_{ij}^0} \right] + \lg \left(1 + \frac{\Delta T_{ij}^{рейса0}}{T_{ij}^{рейса0}} \right) = \lg[1 + \delta(TЧЭ_{ij}^0 - r_{ij}^0)] + \\ &+ \lg(1 + \delta T_{ij}^{рейса0}). \end{aligned}$$

То есть

$$\lg(1 + \delta \Pi_{ij}^0) = \lg[1 + \delta(TЧЭ_{ij}^0 - r_{ij}^0)] + \lg(1 + \delta T_{ij}^{рейса0}), \quad (4)$$

Тогда при изменении лишь $TЧЭ_{ij} - r_{ij}$ выражение (4) преобразуется к виду

$$\lg(1 + \delta\Pi_{ij}^0) = \lg[1 + \delta(TЧЭ_{ij}^0 - r_{ij}^0)], \quad (5)$$

а при изменении лишь $T_{ij}^{peйca}$ - к виду

$$\lg(1 + \delta\Pi_{ij}^0) = \lg(1 + \delta T_{ij}^{peйca_0}). \quad (6)$$

Таким образом, изменение только одного фактора приводит к тому, что

$$\delta\Pi_{ij}^0 = \delta(TЧЭ_{ij}^0 - r_{ij}^0) \text{ при } \delta T_{ij}^{peйca} = 0 \text{ и } \delta\Pi_{ij}^0 = \delta T_{ij}^{peйca_0} \text{ при } \delta(TЧЭ_{ij} - r_{ij}) = 0.$$

По формуле (4), используя антилогарифмы правых частей выражения, получим значения относительных изменений показателя Π_{ij} в зависимости от относительных изменений факторов, приведенные в табл. 1.

Для количественной оценки роли рассматриваемых факторов в динамике результативного показателя эффективности работы флота на заданном направлении использован также метод дифференциального исчисления.

Таблица 1. Относительные изменения показателя Π_{ij}

$\delta(TЧЭ_{ij} - r_{ij})$	$\delta T_{ij}^{peйca}$	$\lg(1 + \delta\Pi_{ij}^0)$	$(1 + \delta\Pi_{ij}^0)$	$\delta\Pi_{ij}^0$
0,05	0	0,0212	1,05	0,05
0	0,05	0,0212	1,05	0,05
0,05	0,05	0,0424	1,1021	0,1021
0,05	0,10	0,0626	1,1532	0,1532
0,10	0,10	0,0828	1,2082	0,2082

В этом методе предполагается, что общее приращение результирующего показателя различается на слагаемые, где значение каждого из них определяется как произведение соответствующей частной производной на приращение переменной, по которой вычислена данная производная. Тогда

$$\Delta\Pi_{ij} = \frac{\partial\Pi_{ij}}{\partial(TЧЭ_{ij}^0 - r_{ij}^0)} \Delta(TЧЭ_{ij}^0 - r_{ij}^0) + \frac{\partial\Pi_{ij}}{\partial T_{ij}^0} \Delta T_{ij}^0. \quad (7)$$

Причем

$$\Delta\Pi_{ij} = \Delta\Pi_{ij(TЧЭ_{ij}-r_{ij})} + \Delta\Pi_{ij(T_{ij})}, \text{ а}$$

$$\Delta\Pi_{ij(TЧЭ_{ij}-r_{ij})} = T_{ij}^0 \cdot \Delta(TЧЭ_{ij}^0 - r_{ij}^0), \quad (8)$$

$$\Delta\Pi_{ijT_{ij}} = (TЧЭ_{ij}^0 - r_{ij}^0) \cdot \Delta T_{ij}^0. \quad (9)$$

Поскольку норматив постоянных расходов является величиной условно-постоянной, подверженной незначительным изменениям с течением времени, введем предположение о возможных изменениях только значения $TЧЭ_{ij}$, тогда (7) преобразуется к виду

$$\Delta\Pi_{ij(TЧЭ_{ij}-r_{ij})} = T_{ij}^0 \cdot \Delta TЧЭ_{ij}^0. \quad (10)$$

Использование интегрального метода оценки факторных влияний [4. С.129-143] позволило установить следующие формулы для оценки изменений результативного показателя прибыли:

$$\Delta\Pi_{ij} = \Pi_{ij(TЧЭ_{ij}-r_{ij})} + \Pi_{ij(T_{ij})}; \quad (11)$$

$$\Delta\Pi_{ij(TЧЭ_{ij}-r_{ij})} = \frac{1}{2} [\Delta(TЧЭ_{ij}^0 - r_{ij}^0)] (T_{ij}^0 + T_{ij}^1) =$$

$$= \frac{1}{2} [\Delta(TЧЭ_{ij}^0 - r_{ij}^0)] (2T_{ij}^0 + \Delta T_{ij}^0); \quad (12)$$

$$\Delta\Pi_{ij(T_{ij})} = \frac{1}{2} \Delta T_{ij}^0 [(TЧЭ_{ij}^0 - r_{ij}^0) + (TЧЭ_{ij}^1 - r_{ij}^1)] =$$

$$= \frac{1}{2} \Delta T_{ij}^0 [2(TЧЭ_{ij}^0 - r_{ij}^0) + \Delta(TЧЭ_{ij}^0 - r_{ij}^0)]. \quad (13)$$

При изменении лишь одного фактора соответственно получаем следующие выражения:

$$\Delta\Pi_{ij(TЧЭ_{ij}-r_{ij})} = \Delta(TЧЭ_{ij}^0 - r_{ij}^0) \cdot T_{ij}^0; \quad (14)$$

$$\Delta\Pi_{ij(T_{ij})} = \Delta T_{ij}^0 \cdot (TЧЭ_{ij}^0 - r_{ij}^0). \quad (15)$$

Причем, при возможном изменении только значения $TЧЭ_{ij}$ из (14) получаем

$$\Delta\Pi_{ij(TЧЭ_{ij}-r_{ij})} = \Delta TЧЭ_{ij}^0 \cdot T_{ij}^0, \quad (16)$$

что позволяет сделать вывод об адекватности оценки влияния рассматриваемых факторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Организация работы линий и анализ эффективности линейного судоходства: Методические рекомендации. - М.: В/О «Мортехинформреклама», 1983. - 120 с.
2. Раховецкий А.Н. Эффективность рейса морского судна. - М.: Транспорт, 1989. - 141 с.
3. Лапкин А.И., Организация и управление работой флота последовательными рейсами. - Одесса: ОГМУ, 2000.- 200 с.
4. Баканов М.И., Шеремет А.Д. Теория экономического анализа. - М.: Финансы и статистика, 1997. - 416 с.

ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ В УКРАИНЕ СУДОХОДНЫХ КОМПАНИЙ В ФОРМЕ КОММАНДИТНОГО ОБЩЕСТВА

И.В. Морозова

Судоходная отрасль относится к категории так называемых капиталоемких отраслей. Это означает, что подавляющий удельный вес в системе ее ресурсов имеют основные производственные фонды. В общем объеме основных производственных фондов около 70% по стоимости составляет транспортный флот. Каждое судно, входящее в состав транспортного флота, является сложным техническим объектом и имеет весьма высокую рыночную цену. Причем, рыночные цены судов подвержены заметной флуктуации, что в целом не характерно для средств производства. По состоянию на конец 2000 года уровень цен на суда отдельных типов был следующим: новый балкер типа Rapataх стоил 20 млн. долл., 5-летнее судно можно было приобрести за 16 млн. долл., 10-летнее – за 11,5 млн. долл.; новый балкер типа Handysize стоил 14 млн. долл., 5-летний – 11 млн. долл.

Приведенные величины позволяют понять, почему процесс покупки новых и замены устаревших судов для многих судоходных компаний является достаточно сложным или вообще невозможным. Выработался даже определенный стереотип инвестиционного поведения судовладельцев, зависящий от уровня фрахтовых ставок. Известно, что судовладелец будет заказывать новое судно только в том случае, если фрахтовая ставка обеспечивает его амортизацию в течение установленного амортизационного периода. Чем ближе значение фрахтовой ставки к критическому уровню, тем серьезней должны быть гарантии долгосрочной занятости приобретаемого судна, и тем труднее найти кредиторов для финансирования проекта. В целом за последние десятилетия судоходная отрасль приобрела статус сферы повышенных инвестиционных рисков и зачастую не вызывает интереса крупных инвесторов. Поэтому многие специалисты считают, что наиболее вероятным источником заемных средств для покупки судов могут стать средства мелких инвесторов.

Положительный опыт привлечения мелких инвесторов к решению задач развития флота уже накоплен в ряде европейских стран, в частности, в странах Скандинавии и Германии. Причем, это удалось сделать, не прибегая к «распылению собственности» посредством продажи акций. В названных стра-

нах были реализованы системы финансирования строительства судов, в которых основная роль отводилась специальным судоходным компаниям, созданным в форме командитного общества (известные KG и KS системы). Особенности этих систем и результатам их применения уделено достаточно много внимания в различных публикациях в журналах "Lloyd's Shipping Economist" и "Seatrade Review". Рассмотрим их идею, основываясь на некоторых из указанных публикаций, в частности [1-3].

Прежде всего, судоходная компания, в которой аккумулируются деньги частных инвесторов, будет строить только одно судно. Она регистрируется в форме так называемого командитного общества. Эта форма предполагает наличие среди учредителей общества, как правило, одного или двух (в общем случае, нескольких) участников с полной ответственностью и многочисленных вкладчиков, ответственность которых ограничивается их вкладом в имуществе общества. Именно участники осуществляют предпринимательскую деятельность от имени общества.

Участниками в общем случае могут быть как компании, учреждения или организации, так и частные лица. Доля каждого из них фиксируется в учредительных документах командитного общества. В рамках KS и KG систем в качестве участников командитных судоходных компаний выступают судостроительные верфи, специализированные компании или финансовые институты. Суммарная доля участников в имуществе общества составляет не менее 50%.

Вкладчиками выступают частные лица, численность которых никакими нормативно-правовыми актами не регламентируется. В Германии, например, общее число вкладчиков в одной компании колеблется от 100 до 1000 человек. Для их привлечения в судоходный бизнес применяется политика налоговых льгот, установленная государством. Так, каждое физическое лицо, ставшее вкладчиком командитной судоходной компании, имеет право вычесть из суммы своих годовых доходов, облагаемых подоходным налогом, убытки в связи с деятельностью компании, распределенные пропорционально доле его вклада. При этом размер списываемых убытков теоретически не должен превышать 150% суммы вклада, а фактически разрешен на уровне 115-125% этого вклада.

Специалисты называют убытки, которые несет судоходная компания, особенно в первые годы своей деятельности, мнимыми. Эти убытки заведомо обусловлены тем методом начисления амортизации, который разрешено использовать компании. Она проводит ускоренную амортизацию, списывая в первый год работы судна 40% его стоимости дополнительно к стандартной норме равномерной амортизации в 8.33%. Таким образом, в течение пяти лет от момента ввода судна в эксплуатацию компания возвращает почти 82% вложенных средств.

Командитная судоходная компания создается на срок около 8 лет, по

истечении которого прекращает свое существование. Судно продается, причем ставка налога на доход от его продажи также является льготной и составляет 50% от установленной законом общей ставки подоходного налога. Выручка от продажи судна вместе с другими наличными у командитного общества денежными средствами (после всех установленных в законодательном порядке расчетов с госбюджетом и третьими лицами) распределяется сначала между вкладчиками, обеспечивая возврат их вкладов, а затем между участниками с полной ответственностью.

Кроме описанных выше налоговых льгот, для мелких инвесторов-вкладчиков большое значение имеют будущие дивиденды, на получение которых они обладают правом согласно учредительному договору. Размер дивидендов зависит как от доли соответствующего вклада, так и от прибыльности работы судна в течение установленного жизненного цикла проекта. Процедура определения размера дивидендов может быть описана следующим образом (рис. 1):

1. Общий объем предоставленных компанией транспортных услуг в денежном выражении

$$F_1 = f \cdot Q,$$

где f – средняя доходная ставка;

Q – объем предоставленных услуг в физических единицах.

2. Производственные затраты и накладные расходы

$$R_1 = \sum_i R_i,$$

где R_i – расходы по i – й статье.

3. Чистый доход от производственной деятельности

$$D_1 = F_1 - R_1.$$

4. Чистый доход от реализации материальных и нематериальных активов

$$D_2 = F_2 - R_2.$$

5. Суммарный чистый доход

$$D_o = D_1 + D_2.$$

6. Налоги на доход предприятия

$$N = \sum_k N_k,$$

где N_k - налог k -го вида.

7. Проценты за кредит

$$PR = \sum_s PR_s,$$

где PR_s – сумма процентов за s – ю ссуду.

8. Фиксированные платежи

$$Fix = \sum Fix(\xi)$$

где $Fix(\xi)$ – размер фиксированного платежа ξ – го вида

9. Доход после вычета налогов и платежей

$$D_3 = D_0 - N - PR - Fix.$$

10. Сумма дивидендов, выплачиваемых вкладчикам,

$$div = \sigma \cdot D_3.$$

где σ – размер дивидендов в процентах к доходу после вычета налогов и платежей.

11. Нераспределенный доход (доход, оставшийся у предприятия)

$$D_4 = D_3 - div.$$

12. Распределение дохода, оставшегося у предприятия,

$$D_4 = \sum_j \Delta D_j.$$

где ΔD_1 – отчисления на финансирование оборотного капитала;

ΔD_2 – отчисления на финансирование основного капитала;

ΔD_3 – отчисления в резервные фонды;

ΔD_4 – отчисления в страховые фонды;

ΔD_5 – остаток нераспределенного дохода

и так далее.

Из представленной части модели ясно, что при определении ежегодного размера дивидендов в расчет принимается уровень фрахтовых ставок, объем выполняемой судном транспортной работы и степень использования его провозной способности, цены на топливо, другие затратные ставки, неопределенность будущей ситуации на фрахтовом рынке, требующая создания резервов и страховых запасов и т.д. Надо иметь также ввиду, что судоходная компания не получает никаких льгот по налогообложению прибыли. Чем осторожнее действует компания, тем ниже уровень начисляемых дивидендов и тем сложнее привлечь необходимое количество вкладчиков.

Таким образом, судоходную компанию в форме командитного общества можно создать только при благоприятной конъюнктуре фрахтового рынка или при гарантии долгосрочной занятости судна (наличии договора фрахтования на длительный период времени, сопоставимый со сроком существования компании). Например, в Германии популярность КГ системы у частных лиц была обусловлена, в том числе и наличием активного рынка контейнеровозов.

Понятно, однако, что только заинтересованности частных лиц недостаточно для развития подобной системы финансирования строительства и покупки судов. Система должна представлять интерес и для государства, в котором она применяется. Конечно, не сама по себе как инструментарий, а в связи с обеспечиваемым ею эффектом. Если одним из государственных при-

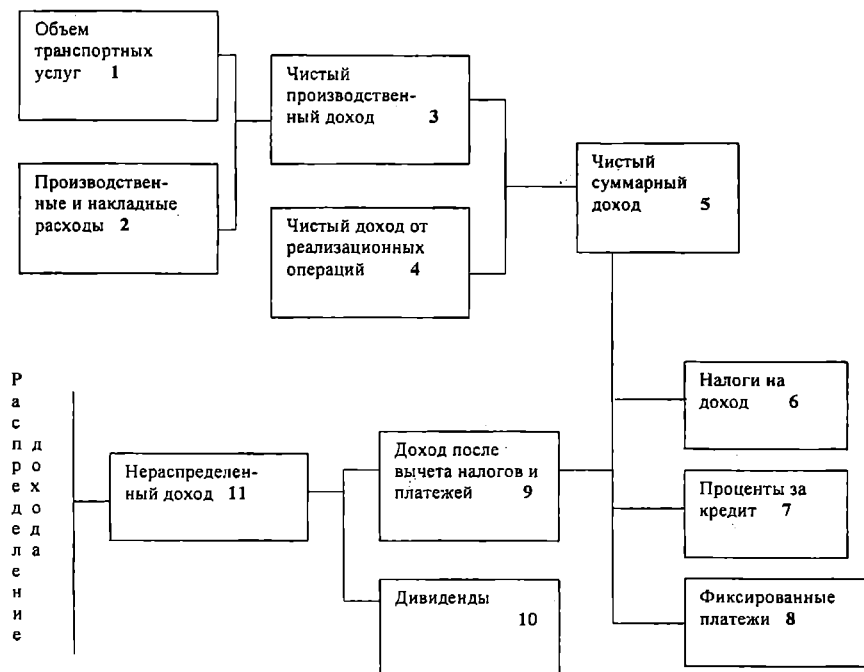


Рис. 1. Схема определения размера дивидендов

оритетов является поддержка национального судоходства, то государство пойдет на стимулирование мелких инвесторов путем предоставления им необходимых налоговых льгот. При этом для реализации своих интересов оно может ограничить число степеней свободы самой судоходной компании. Так, в Германии подобные ограничения были сформулированы следующим образом:

- нельзя продавать судно до истечения установленного в учредительных документах компании срока ее существования;
- судно должно ходить в течение установленного срока под национальным флагом.

Можно ввести и другие ограничения, например, касающиеся места строительства судна, национальной принадлежности членов экипажа и т.д.

В такой ситуации при взаимной заинтересованности сторон КГ система позволяет Германии до настоящего времени развивать свой контейнеровозный флот.

Естественным представляется вопрос о том, возможно ли применить похожую схему для финансирования инвестиций в украинский транспортный

флот. Для ответа на него необходимо проанализировать и оценить следующие факторы:

- текущая конъюнктура фрахтового рынка и связанного с ним рынка судов;
- наличие потенциальных мелких инвесторов из числа частных лиц и их готовность вкладывать деньги в строительство и покупку судов;
- наличие крупных инвесторов, которые могли бы выступить в качестве участников коммандитных судоходных (судовладельческих) компаний;
- наиболее целесообразная ниша для деятельности коммандитных компаний;
- готовность государства обеспечить условия для становления системы финансирования судоходства посредством коммандитных обществ;
- приемлемая для всех сторон совокупность льгот и ограничений как составная часть системы финансирования.

Перечисленные факторы требуют достаточно тщательного исследования для получения объективного ответа на поставленный вопрос. Однако на первом шаге можно ограничиться предварительными общими суждениями по каждому из них.

О том, насколько благоприятна конъюнктура фрахтового рынка для привлечения мелких инвесторов в судоходную отрасль, следует говорить применительно к отдельным секторам этого рынка. Обычно основное внимание уделяется контейнерному, балкерному, танкерному и универсальному (конвенциональному) флоту.

Принимая во внимание опыт Германии, можно попытаться заинтересовать потенциальных инвесторов в развитии, прежде всего, контейнерного флота. Действительно, уровень контейнеризации международных перевозок грузов неуклонно повышается, что обусловлено переходом к новым, логистическим, концепциям и принципам организации движения товаропотоков. Эта тенденция неизбежно станет доминирующей и для украинских грузовладельцев и перевозчиков, а, значит, спрос на услуги контейнеровозов с годами будет повышаться. Негатив состоит в том, что на мировом фрахтовом рынке уже сейчас наблюдается избыток данного типа судов, а темпы размещения заказов на них и их строительство не снижаются. Учитывая, что этот сектор рынка имеет олигополистическую структуру, можно ожидать определенные сложности с выходом на него даже на национальном уровне и, кроме того, рассчитывать только на зависимое положение в смысле выбора клиентуры и направлений перевозок. Загрузка судов, тем не менее, будет обеспечена за счет тех грузопотоков, которые не представляют интереса для крупных судоходных компаний.

Наименьший интерес для мелких инвесторов, на наш взгляд, должен представлять танкерный флот, хотя в связи с проектами транспортировки каспийской нефти этот сектор судоходного рынка находится постоянно в центре вни-

мания. Такое противоречивое заключение кажется нам вполне логичным. Прежде всего, необходимо учитывать, что в мировом масштабе существует достаточный по размеру избыточный тоннаж танкеров различных дедвейтных групп (около 10% всего наличного флота), а рост заказов на новые суда продолжается. Танкера в значительной своей части принадлежат нефтяным корпорациям, и судовладельческим компаниям, построенным по принципу «одно судно – одна компания», в этом секторе фрахтового рынка делать, как правило, нечего. В такой ситуации какие-либо сбои в реализации проектов транспортировки каспийской нефти, скорее всего, приведут к потере работы для построенных под эти проекты судов, их непостоянной занятости на других направлениях перевозок. Однако предпочтения мелких инвесторов в отношении танкерного флота могут кардинально измениться, если идею их привлечения к финансированию строительства танкеров поддержат компании, собственно и организующие транспортировку каспийской нефти.

В настоящее время интерес для инвесторов могут представлять конвенционные суда, предназначенные для перевозки генеральных грузов. В период с середины 80-х до середины 90-х годов произошло существенное падение спроса на эти суда, однако, с середины 90-х годов началось оживление данного сектора фрахтового рынка. Проявилась тенденция к росту количества заказываемого новостроя. Суда такого типа оказались востребованными со стороны отправителей мелких грузовых партий. Большое число подобных отправителей характерно для украинского фрахтового рынка. При более детальном изучении этого сектора может оказаться, что он наиболее перспективен для развития флота по рассматриваемой схеме его финансирования.

Относительно целесообразности работы в балкерном секторе фрахтового рынка отметим следующее. Объемы перевозок навалочных и насыпных грузов во внешнеторговом обороте Украины составляют весьма значительную долю. Поэтому балкерный флот является для нее стратегически важным. Мировой фрахтовый рынок практически во всех секторах сбалансирован, существенного избытка тоннажа не наблюдается. Крупнейшими балкерными флотами обладают Греция, Япония и Китай, в то время как многие другие страны, производящие сырьевые продукты, своего серьезного балкерного флота не имеют. В силу этого, на рынке должен практически отсутствовать протекционизм. Десять крупнейших судовладельцев, работающих на балкерном рынке, не обладают монополией на перевозки. Этому рынку в большей мере, чем другим фрахтовым рынкам, присущи признаки совершенной конкуренции. Таким образом, на балкерный рынок достаточно легко (без чрезмерных затрат на преодоление преград и маркетинг) выйти. Фрахтовые ставки и суточные доходы судов растут, начиная с января 2000 г. Наибольший рост происходит в секторе Capesize, в секторах Panamax и Handysize рост является более умеренным, плавным. Для сектора Capesize

возможно в связи с резким подъемом и столь же резкое падение ставок; для секторов Panamax и Handy такое менее вероятно. Поэтому сектора Panamax и Handy являются менее рискованными для судовладельцев, особенно Handy. Правда, последний и не столь выигрышный с точки зрения доходов. Наиболее сбалансирован сейчас рынок судов класса Capesize. Существует большое количество судоверфей, занимающихся строительством балкерных судов, прежде всего, на Дальнем Востоке. Опыт их строительства имеют и украинские верфи. Цены на новые суда относительно невысокие. В настоящее время заказчики отдают предпочтение судам класса Panamax. На вторичном рынке активно предлагают суда класса Handy. Суда класса Capesize заказываются в меньшем объеме, но ими сейчас практически и не торгуют на вторичном рынке.

Таким образом, ситуация на фрахтовом рынке в целом является достаточно благоприятной с точки зрения организации эффективной производственной деятельности.

Более пессимистическими выглядят показатели уровня материального благосостояния населения Украины. По данным УЦЭПИ (Украинский центр экономических и политических исследований имени Александра Разумкова) сегодня полностью обеспеченными себя считают 0,5% граждан Украины; оценивают свой достаток как: выше среднего – 1,5%; средний – 10%, ниже среднего – 51,7%; считают себя находящимися за чертой бедности 25,4%. Через пять лет прогнозируются следующие мироощущения граждан: полностью обеспечены – 0,7% населения; достаток выше среднего – 3,9%; средний достаток – 10%; достаток ниже среднего – 12,6%; за чертой бедности – 21,4%; неопределенные ожидания – 51,4%. Эти цифры позволяют очертить потенциальное множество мелких инвесторов для различных отраслей экономики, а именно: оптимистическая оценка с учетом среднего класса – 15-20% населения, пессимистическая, без учета среднего класса, - 3-5% населения. В абсолютном выражении это означает как минимум 1,5 млн. человек, способных вкладывать свои сбережения в высокодоходный бизнес. Для их привлечения именно в судоходную отрасль необходимо проведение достаточно серьезной рекламной кампании общенационального характера. Она должна сформировать у общественности убеждение, что развитие судоходства в Украине не только политически важное, экономически необходимое, престижное, но и выгодное с точки зрения каждого участника направления.

Кроме того, предстоит преодолеть сложившееся недоверие мелких инвесторов к различным финансовым структурам, выстраивая и объясняя публично систему гарантий против недобросовестной предпринимательской деятельности, а также объективно информируя этих инвесторов относительно уровня инвестиционных рисков в судоходной отрасли. В данной ситуации весьма важно, чтобы участниками создаваемых командитных обществ становились надежные, имеющие высокий рейтинг, производственные или финан-

совые компании.

Наилучшим вариантом было бы существование в Украине одной специализированной компании (или, в перспективе, нескольких компаний), поддерживающей процесс развития судоходства путем создания множества командитных обществ. Именно такие компании действуют в Германии, Дании и других странах. Она может, например, иметь статус дочерней компании какого-либо крупного банка или инвестиционного фонда, создаваться с участием местных органов государственной власти (в частности, быть муниципальной) и т.д.

Поначалу специализированная компания может быть не крупной, обладающей средствами для реализации одного-двух проектов. Сферой ее интереса должны стать суда небольшого дедвейта до 10 тыс. тонн, имеющие относительно невысокую строительную стоимость. Это, на наш взгляд, обуславливается, с одной стороны, необходимостью как можно большего снижения инвестиционных рисков, а с другой – достаточно ограниченным числом потенциальных инвесторов.

Для того чтобы оценить возможные денежные потоки в рамках одного командитного общества рассмотрим близкий к реальности пример. Допустим, что создается судоходная компания в форме командитного общества, которая намерена разместить заказ на строительство судна стоимостью около 20 млн. долл. Вклад участника с полной ответственностью в имуществе общества должен составлять более 10 млн. долл. и осуществляться им из собственных (но не заемных!) средств. Тогда совокупный размер доли вкладчиков не будет превышать 10 млн. долл., причем на момент регистрации общества они имеют право внести только часть этой доли (но не менее 25% взноса). Для примера установим соотношение между долями участника и вкладчиков как 12 млн. долл. против 8 млн. долл. Тогда первоначальный взнос вкладчиков может составлять 2 млн. долл. Если ограничить количество вкладчиков 1000 человек (основываясь на опыте Германии), то полный взнос каждого из них будет в среднем равен 8 тыс. долл. Однако, учитывая уровень материального благосостояния населения Украины, можно превысить указанное число вкладчиков, не доводя его, впрочем, до неуправляемого уровня. Если число вкладчиков ограничить 2000, то средний вклад снизится до 4 тыс. долл. При этом можно установить предельные размеры индивидуальных взносов, например, от 1 тыс. долл. до 20 тыс. долл., а также допустимое число взносов определенной величины. Без последнего условия не удастся ограничить количество вкладчиков в заданных пределах.

Для стимулирования мелких инвесторов в Украине предоставление государством каких-либо налоговых льгот маловероятно. Хотя с учетом незначительной численности привлекаемых лиц можно разрешить им исключать из суммы дохода, облагаемого подоходным налогом, взнос в имущество командитного общества.

Принимая во внимание состояние судостроительной отрасли Украины, государство в первых проектах не должно, на наш взгляд, требовать обязательного размещения заказов на суда на национальных верфях. Это позволит судоходным компаниям сэкономить на капитальных вложениях и выиграть в сроках выполнения заказов. Причем, построенные на зарубежных верфях суда не должны облагаться таможенной пошлиной. В то же время условие плавления судов под национальным флагом на протяжении всего периода существования компании следует жестко соблюдать. Для поддержки создаваемых командитных компаний государство могло бы гарантировать им определенную грузовую базу, сформированную на множестве подконтрольных ему грузопотоков.

Судоходная компания в форме командитного общества должна создаваться на срок, не меньший по продолжительности, чем период амортизации судна. С целью интенсификации воспроизводственного процесса государство может разрешить судоходной компании проведение ускоренной амортизации по специальной схеме, отличающейся от стандартной. Однако, это столь же маловероятно, как и предоставление налоговых льгот отдельным физическим лицам, поскольку ускоренная амортизация приводит, как известно, к отрицательным финансовым результатам в первые годы эксплуатации судна. Это, в свою очередь, означает отсутствие налоговых поступлений в госбюджет от данной компании. Таким образом, приемлемый для всех сторон срок существования командитной компании может составить около 16 лет.

Соответствующий возраст будет иметь и принадлежащее компании судно (с поправкой на строительный лаг). Судно такого возраста является достаточно ликвидным и может быть продано по рыночной стоимости, заметно превышающей стоимость его разделки на лом. Так как сделка купли/продажи судна носит разовый характер, доход от нее может облагаться налогом по льготной ставке.

Перечисленные условия, обеспечивающие создание и функционирование судоходных компаний в форме командитных обществ, позволили бы, на наш взгляд, задействовать потенциальные финансовые возможности населения страны, как для возрождения ее морского торгового флота, так и для повышения уровня жизни самого населения.

ЛИТЕРАТУРА

1. *KG containership market faces saturation // Lloyd's Shipping Economist. – 1995. – 17, № 5. – P.14-16*
2. *KG funding still on the boil // Seatrade Review. – 1995. – September. – P.69-71.*
3. *An investor's view of deal structures // Lloyd's Shipping Economist. – 1994. – January. – P. 9-12.*

ТЕОРИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ ДИСКРЕТНЫХ ПРОЦЕССОВ В ПРОЕКТЕ МОРСКИХ ПЕРЕВОЗОК ГРУЗОВ

А.Г. Шибает

Морской транспорт Украины работает в условиях рынка и жесткой конкуренции со стороны экономически развитых стран мира. Рынок как сфера товарного обмена предполагает постоянное изменение конъюнктуры и условий. В свою очередь управление изменениями связано с разработкой проекта, в среде которого формируются адекватные решения. Вместе с тем до последнего времени управление проектами как самостоятельная область знаний в Украине была не востребована.

Состав методов и средств, которые используются в проекте, постоянно пополняется благодаря развитию современных математических теорий оптимизации управления таких как: теория игр, оптимальных дискретных процессов, иерархических многоуровневых систем. Однако большинство полученных результатов ориентировано на ранее действующую в стране плановую систему экономики. В связи с этим, с целью обеспечения эффективного функционирования транспортного механизма в условиях рыночной экономики, требуется адекватное экономико-математическое моделирование ее закономерностей, выраженных в конкуренции, эквивалентном обмене, равноправном партнерстве и взаимной выгоде.

Известно [1], что по значимости и сложности оперативное управление перевозками и работой флота судоходной компании занимает одно из первых мест, а календарное планирование в свою очередь является центральной его задачей.

Для формулировки основных положений связанных с решением этой задачи проведем декомпозицию общего транспортного процесса P на ряд подпроцессов P_c ($c = 1, 2, \dots, m$) работы каждого судна.

Ввиду ограниченности производственных возможностей портов и объемов перевозок на отдельных линиях и направлениях, принятие решения с позиции

каждого конкретного судна представляет собой задачу выбора лучшей стратегии поведения в условиях конфликта и неопределенности, что в полной мере отражает рыночные условия работы флота.

Таким образом, необходимо согласовать работу судов C так, чтобы эффект от деятельности флота в целом в условиях влияния на каждое судно остальных был максимальным. Такой подход к решению проблемы позволяет представить модель задачи формирования плана работы флота в рамках теории игр [2].

Для дальнейшей формализации конфликтной ситуации необходимо:

- определить действующие стороны, отстаивающие определенные интересы в конфликте;
- установить возможности участников конфликта в процессе принятия решений.

Действующими сторонами в конфликте являются суда $c \in C$, характеру работы которых соответствует подпроцесс P_c , то есть коалиция действия S_d состоит из одного игрока, принимающего решения из множества допустимых для него решений $\{M_c\}$. Множество $\{M_c\}$ сформировано на основе плановых грузопотоков, условий работы отдельных судов c и является деревом допустимых технологических маршрутов $K_c(A, L)$.

Каждая стратегия $l(k)$ (выбор той или иной дуги для перехода) ставит в соответствие информационному множеству p дерева $K_c(A, L)$ число $j=1, 2, \dots, J_p$, где J_p - общее число альтернатив информационного множества p . Информационные множества представляют собой подмножества всех неоконченных позиций судна c в рассматриваемом периоде времени T . Так как совокупность допустимых стратегий представлена деревом $K_c(A, L)$, то каждое информационное множество состоит из одного элемента (позиции). Следовательно, конфликтная ситуация относится к классу игр с полной информацией [3. С.8]. Принятие решения $l(k) \in M_c$ приводит подпроцесс P_c в состояние j , которое представлено конечномерным вектором X_c размерности n_c . Композиция этих векторов, описывающих состояния всех подпроцессов P_c ($c=1, 2, \dots, m$) - вектор $X=(X_1, X_2, \dots, X_c, \dots, X_m)$, который имеет размерность

$$n = \sum_{c=1}^m n_c$$

и характеризует состояние всего процесса P на уровне отдела парходства.

Принятие решения каждой из действующих сторон $c \in C_d$ о переходе в состояние j , то есть вектор стратегий $X=(X_1, X_2, \dots, X_m)$, является исходом конфликта и определяет ситуацию игры. Очевидно, что число ситуаций характеризуется декартовым произведением множеств стратегий

$$J = \prod_{c \in C_d} M_c.$$

Так как каждое судно принято считать в задаче самостоятельным экономическим объектом, то ему присущи в конфликте определенные интересы. Тогда коалиция интересов C_n , как и коалиция действия C_d , состоит из одного игрока и $C_n \equiv C_n \equiv C$, то есть коалиция действия является одновременно и коалицией интересов. Следовательно, игра носит ярко выраженный бескоалиционный характер.

Для описания целей участников конфликта введем отношение предпочтения. Пусть функция выигрыша $\Phi_c(X_1, X_2, \dots, X_m)$ принимает вещественные значения. Эти значения будем понимать как выигрыш, который получает судно c в ситуации X .

Если для любых X_1 и $X_2 \in J$, $\Phi_c(X_1) > \Phi_c(X_2)$, то естественно считать, что $X_1 \succ_c X_2$, то есть судно c предпочитает ситуацию X_1 ситуации X_2 . Причем отношение предпочтения транзитивно, если $X_1 \succ_c X_2$ и $X_2 \succ_c X_3$, то $X_1 \succ_c X_3$.

Функция выигрыша $\Phi_c(X)$ судна c зависит от стратегий всех участников конфликта, и каждая сторона стремится получить максимальное ее значение в конечной ситуации, которая и определяет решение игры. Тогда совокупность выигрышей отдельных участников c определит максимальный эффект от их действий (в условиях взаимного влияния) для всего флота, то есть уровня отдела.

Исходя из приведенной постановки, формальная модель конфликта описывается системой вида

$$\Gamma = \langle C, \{M\}, \{\Phi\} \rangle \\ c \in C \quad c \in C$$

Последовательное принятие решения, в соответствии с описанным их характером, направленное на улучшение функции выигрыша каждого из

участников конфликта, и обеспечивает реализацию «нежесткого» способа согласования в модели функционирования двухуровневой системы управления: «отдел - суда».

Игровой подход к решению задачи оптимального функционирования предполагает решение трех основных вопросов:

- что понимать под оптимальным решением в конфликте;
- определение существования решения в данном смысле;
- алгоритмическое определение решения выбранного принципа оптимальности и класса игр.

Ситуация в игре, а следовательно и выигрыш, зависят не только от выбора судном c собственной стратегии, но и от того, каких стратегий будут придерживаться остальные. Просмотр допустимых стратегий сторон и их сравнение по последствиям с позиции отношения предпочтения и определяет понятие оптимальности ситуации (действия).

Выработанные в настоящее время в теории игр принципы оптимальности, как правило, отражают идею устойчивости ситуации. Тогда оптимальное поведение выразится в стремлении участников конфликта к стратегически устойчивым ситуациям таким, от которых нецелесообразно отступить в процессе игры. По определению, выработка решений о предстоящем назначении судов в рейс описывается бескоалиционной игрой, в которой участники имеют информацию друг о друге и стремятся максимизировать свои критерии эффективности. Для данного класса игр основным является принцип оптимальности по Нэшу [3]. В соответствии с этим принципом отклонение каждым судном от выбранного за основу маршрута, реализующего стратегию, которая приводит к ситуации равновесия, лишь уменьшает значение его функции выигрыша (критерия эффективности). Для формулировки этого принципа рассмотрим функциональное уравнение подпроцесса P_c

$$y = P_c(X_c, \theta) = \Phi_c(X_1, X_2, \dots, X_m) = \Phi_c(X_c, X), \quad (1)$$

где X_c - собственная стратегия судна c ;

y - выходной, θ - связывающий параметр;

X - совокупность стратегий остальных судов;

$\Phi_c(X_c, X)$ - функция выигрыша судна c .

Тогда решением или точкой равновесия по Нэшу игры Γ называется точка $X^* \in Y$ такая, что для всех $c \in C$.

$$\max_{X_c} \Phi_c(X_c, X^*) = \Phi_c(X^*, X^*) \quad (2)$$

$$\forall c \in C$$

Существование решения для данной игры Γ в соответствии с выбранным принципом оптимальности следует из теоремы [3. С.32], которая гласит, что любая игра N -лиц с полной информацией имеет ситуацию равновесия.

Для определения данной ситуации равновесия с помощью приема рандомизации выполним переход от чистых стратегий к смешанным, то есть введем условную вероятность выбора судном с возможных вариантов работы в каждом информационном множестве дерева маршрутов $K_c(A, L)$ при условии, что

$$\sum_{l(c,k) \in P_c(a(c,k))} X(c, a(c,k), l(c,k)) = 1 \quad (3)$$

Здесь $a(c,k)$ - номер вершины дерева $K_c(A, L)$ на шаге k принятия решений о предстоящей работе судна;

$l(c,k)$ - номер дуги, выходящей из вершины $a(c,k)$.

Число шагов T_c характеризует количество рейсов судна c , учитываемых в плановом периоде.

Исходя из структуры подпроцессов P_c , которая описывается деревом $K_c(A, L)$, естественно считать, что множество смешанных стратегий определяет значения неоднородного дискретного марковского процесса, основные состояния которого устанавливаются следующим образом:

$$x_j(k+1) = B_c(k) x_i(k), \quad (4)$$

где $B_c(k) = \|X_{ij}^c(k)\|$ - переходная стохастическая матрица условных вероятностей на шаге k в информационном множестве, определяемом вершиной $a_i(k)$;

$X_{ij}^c(k)$ условная вероятность перехода - принятия решения о работе по схеме $l_{ij}(c,k)$;

$x_j(k+1)$ - вектор вероятности состояний подпроцесса на шаге $k+1$ по номерам $j(k+1)$;

$x_i(k)$ - вероятность состояния $i(k)$ подпроцесса на шаге k .

Каждой реализации марковского процесса будем сопоставлять набор $B_c = (B_c(0), B_c(1), \dots, B_c(T_c-1))$ переходных матриц, определяющих совокупность

состояний $X_c=(X_c(0),X_c(1),\dots,X_c(T))$ подпроцесса P_c работы судна $c \in C$ по освоению плановых грузопотоков.

Состояния подпроцесса на каждом шаге описывается вектором $x_c(k)=(x_{c1}(k),\dots,x_{cn}(k))$, компоненты которого представляют математическое ожидание финансового результата от работы судна c по схемам движения $l_{ij}(c,k)$.

Таким образом, приведенная постановка позволяет перейти к следующему вопросу - алгоритмическому решению задачи для выбранного принципа оптимальности и класса игр. Оно сводится к итеративному, последовательному рассмотрению участников конфликта (судов) и их стратегий (схем движения) по этапам (шкагам) принятия решений о предстоящей работе.

Исходя из приведенной в теоретико-игровой постановки, предлагается следующая математическая модель определения оптимальной траектории движения подпроцесса P_c :

$$\sum_{k=0}^{T_c-1} \sum_{a(c,k)} \sum_{a(c,k+1) \in A_c(a(c,k))} \Phi_c(a(c,k), a(c,k+1), \theta(c,k+1)) \times$$

$$\times X(c, a(c,k)) X(c, a(c,k), a(c,k+1)) \rightarrow \max; \quad (5)$$

$$X(c, a(c,k+1)) = X(c, a(c,k)) X(c, a(c,k), a(c,k+1)); \quad (6)$$

$$\sum_{a(c,k+1) \in A_c(a(c,k))} X(c, a(c,k), a(c,k+1)) = 1; \quad (7)$$

$$X(c, a(c,k), a(c,k+1)) \geq 0; \quad (8)$$

$$X(c, a(c,0)) - \text{задано} \quad (9)$$

Функционал (5) определяет математическое ожидание финансового результата от работы судна c по всему множеству вариантов, реализуемых деревом $K_c(A,L)$ в условиях влияния на него $\theta(c,k+1)$ других судов группы.

Уравнение движения (6) характеризует динамику изменения состояний подпроцесса P_c .

Соотношение (7) определяет вероятностное распределение в точке $a(c,k)$.

Условие (8) устанавливает требование неотрицательности управляющих переменных, варьирование которыми в направлении от 0 до 1 позволяет, просматривая одновременно все возможные ситуации игры Γ , найти оптимальное ее решение.

Для получения условий оптимальности многошаговой задачи (5)-(9) воспользуемся выводами теоремы Куна-Таккера [4. С.366]. С этой целью запишем функцию Лагранжа:

$$\begin{aligned}
 F_c = & \sum_{k=0}^{T_c-1} \sum_{a(c,k)} \sum_{a(c,k+1) \in A_c(a(c,k))} \Phi_c(a(c,k), a(c,k+1), \theta(c,k+1)) \times \\
 & \times X(c, a(c,k), a(c,k+1)) - \\
 & - \sum_{k=0}^{T_c-1} \sum_{a(c,k+1) \in A_c(a(c,k))} \lambda(c, a(c,k+1)) \{X(c, a(c,k)) \times \\
 & \times X(c, a(c,k), a(c,k+1)) - X(c, a(c,k+1))\}, \quad (10)
 \end{aligned}$$

где $\lambda(c, a(c, k+1))$ - множители Лагранжа.

Для преобразования выражения (10) введем функцию Гамильтона:

$$H_c(a(c, k), a(c, k+1)) =$$

$$\begin{aligned}
 = & \sum_{k=0}^{T_c-1} \sum_{a(c,k)} \sum_{a(c,k+1) \in A_c(a(c,k))} \Phi_c(a(c,k), a(c,k+1), \theta(c,k+1)) \times \\
 & \times X(c, a(c,k), a(c,k+1)) - \\
 & - \sum_{a(c,k+1) \in A_c(a(c,k))} \lambda(c, a(c,k+1)) X(c, a(c,k)) \times \\
 & \times X(c, a(c,k), a(c,k+1)). \quad (11)
 \end{aligned}$$

Тогда функция Лагранжа примет вид:

$$\begin{aligned}
 F_c = & \sum_{k=0}^{T_c-1} H_c(a(c, k), a(c, k+1)) + \sum_{k=0}^{T_c-1} \sum_{a(c,k+1) \in A_c(a(c,k))} \lambda(c, a(c,k+1)) \times \\
 & \times X(c, a(c,k), a(c,k+1)) = \sum_{a(c, T_c)} \lambda(c, a(c, T_c)) X(c, a(c, T_c)) + \\
 & + \sum_{k=0}^{T_c-1} \{H_c(a(c, k), a(c, k+1)) + \sum_{a(c, k)} \lambda(c, a(c, k+1)) \times X(c, a(c, k), a(c, k))\} +
 \end{aligned}$$

$$+ \sum_{a(c,k+1) \in A_c(a(c,0))} H_c(a(c,0), a(c,1)) \quad (12)$$

Так как по условию задачи на переменные $X(c, a(c, k))$ не накладывается никаких ограничений, то на экстремальной траектории

$$\nabla_{X(c, a(c, k))} F_c = \left\{ \frac{\delta F_c}{\delta X(c, a(c, k))} \right\}_{k=0}^{T_c} = 0. \quad (13)$$

$$\begin{cases} \lambda(c, a(c, T_c)) = 0; \\ \lambda(c, a(c, k)) = - \frac{\delta H_c(a(c, k), a(c, k+1))}{\delta X(c, a(c, k))}. \end{cases} \quad (14)$$

С другой стороны на переменные $X(c, a(c, k), a(c, k+1))$ накладываются ограничения (7), (8). Следовательно, вариация функционала на экстремальной траектории по параметру управления определяется соотношением

$$\nabla_{X(c, a(c, k), a(c, k+1))} F_c = \left\{ \frac{\delta F_c}{\delta X(c, a(c, k), a(c, k+1))} \right\}_{k=0}^{T_c-1} \neq 0 \quad (15)$$

На основании (5), (12) и (15) можно сделать вывод, что на экстремальной траектории вариация функционала будет определяться как

$$\delta F_c = \sum_{k=0}^{T_c-1} \frac{\delta F_c}{\delta X(c, a(c, k), a(c, k+1))} \delta X(c, a(c, k), a(c, k+1)) = \sum_{k=0}^{T_c-1} \delta H_c(c, a(c, k), a(c, k+1)) \leq 0 \quad (16)$$

Пусть оптимальный подпроцесс P_c характеризуется последовательностями $\{\lambda^*(c, a(c, k+1)), X^*(c, a(c, k)), X^*(c, a(c, k), a(c, k+1))\}$. Тогда при $\{\lambda^*(c, a(c, k+1)), X^*(c, a(c, k)), X(c, a(c, k), a(c, k+1))\}$ соотношения (16) следует, что

$$\delta H_c(c, a(c, k), a(c, k+1)) = H'_c(c, a(c, k), a(c, k+1)) - H_c(c, a(c, k), a(c, k+1)) \leq 0 \quad (17)$$

Из приведенных выше зависимостей (14), (17), (7) и (8) следует, что для достижения оптимальной траектории необходимо в каждой вершине дерева $K_c(A, L)$ решить следующую задачу:

$$\sum_{a(c, k+1) \in A_c(a(c, k))} H_c(c, a(c, k), a(c, k+1)) \rightarrow \max; \quad (18)$$

$$\sum_{a(c, k+1) \in A_c(a(c, k))} X(c, a(c, k), a(c, k+1)) = 1; \quad (19)$$

$$X(c, a(c, k), a(c, k+1)) \geq 0; \quad (20)$$

$$\lambda(c, a(c, k)) = - \frac{\delta H_c(a(c, k), a(c, k+1))}{\delta X(c, a(c, k))}; \quad (21)$$

$$\lambda(c, a(c, T_c)) = 0. \quad (22)$$

Представленное условие оптимизации многошагового процесса носит название дискретного принципа максимума. Основным методом решения рассмотренной задачи может служить «метод возможных направлений», который предусматривает следующий состав операций:

- выбор произвольного допустимого управления;
- выбор подходящего направления, в котором следует изменить управление;
- определение длины шага изменения управления;
- определение нового управления и оценка близости его к оптимальному.

В большинстве практических задач допустимое управление легко определяется, исходя из эксплуатационно-экономических (физических) соображений. В общем случае выбор той или иной альтернативы в каждой вершине дерева маршрутов $K_c(A, L)$ может быть принят равновероятным. Исходя из его структуры, начальное управление определяется системой

$$V_c^0 = (X_c^0(0), X_c^0(1), \dots, X_c^0(k), \dots, X_c^0(T_c-1)), \quad (23)$$

$$\text{где } X_c^0(k) = (x_c^0(k, 1), x_c^0(k, 2), \dots, x_c^0(k, i), \dots, x_c^0(k, n)). \quad (24)$$

Каждый элемент $x_c^0(k, i)$ системы (24) представляет вектор

$$x_c^0(k,i) = \{x^0(3c,a(c,k),a(c,k+1)), x^0(c,a(c,k),a(c,k+1)), \dots, x^0(c,a(c,k),a(c,k+1))\} \quad (25)$$

удовлетворяющий соотношению (7).

По аналогии траекторию движения подпроцесса, соответствующую управлению B_c^0 , можно представить в виде совокупности векторов вида (23)-(25), содержащих элементы, характеризующие состояние подпроцесса.

На основании (14) определяется последовательность сопряженных переменных

$$\lambda_c^0 = (\lambda_c^0(T), \dots, \lambda_c^0(k), \dots, \lambda_c^0(1)) \quad (26)$$

и значения функции Гамильтона (11).

Выбор подходящего направления $\delta X(c,a(c,k),a(c,k+1))$, обеспечивающего максимальное увеличение показателя качества, осуществляется, исходя из решения задач следующего вида:

$$\sum_{a(c,k+1) \in A_c(a(c,k))} \frac{\delta H_c(a(c,k), a(c,k+1))}{\delta X(c, a(c,k), a(c,k+1))} \times \delta X(c, a(c,k), a(c,k+1)) \rightarrow \max; \quad (27)$$

$$\sum_{a(c,k+1) \in A_c(a(c,k))} \{X(c, a(c,k), a(c,k+1)) + \delta X(c, a(c,k), a(c,k+1))\} = 1; \quad (28)$$

$$\{X(c, a(c,k), a(c,k+1)) + \delta X(c, a(c,k), a(c,k+1))\} \geq 0. \quad (29)$$

В общем случае определение длины шага $\alpha(c,a(c,k),a(c,k+1))$ изменения параметра управления в оптимальном направлении $\delta X^*(c,a(c,k),a(c,k+1))$ следует из решения задачи:

$$\sum_{k=0}^{T_c-1} \sum_{a(c,k)} \sum_{a(c,k+1) \in A_c(a(c,k))} \Phi_c(a(c,k), a(c,k+1), \theta(c,k+1)) \times \{X(c, a(c,k), a(c,k+1)) + \alpha(c, a(c,k), a(c,k+1)) \times \delta X^*(c, a(c,k), a(c,k+1))\} \rightarrow \max; \quad (30)$$

$$X(c, a(c,k), a(c,k+1)) = X(c, a(c,k)) \{X(c, a(c,k), a(c,k+1)) + \alpha(c, a(c,k), a(c,k+1)) \times \delta X^*(c, a(c,k), a(c,k+1))\}; \quad (31)$$

$$\sum_{a(c,k+1) \in A_c(a(c,k))} \{X(c, a(c,k), a(c,k+1)) + \alpha(c, a(c,k), a(c,k+1)) \times \delta X^*(c, a(c,k), a(c,k+1))\} = 1; \quad (32)$$

$$\{X(c, a(c,k), a(c,k+1)) + \alpha(c, a(c,k), a(c,k+1)) \delta X^*(c, a(c,k), a(c,k+1))\} \geq 0. \quad (33)$$

В большинстве случаев решение задачи (30) - (33) осуществляется чисто поисковым путем.

После того, как найдены значения $\delta X^*(c, a(c,k), a(c,k+1))$ и $\alpha^*(c, a(c,k), a(c,k+1))$ новое управление определяется по формуле

$$X'(c, a(c,k), a(c,k+1)) = X^0(c, a(c,k), a(c,k+1)) + \alpha^*(c, a(c,k), a(c,k+1)) + \delta X^*(c, a(c,k), a(c,k+1)) \quad (34)$$

Далее осуществляется расчет нового взаимного влияния судов, связанного с изменением управления подпроцесса P_c и выполняется переход к $c+1$ подпроцессу.

Решение считается законченным, если после t итераций $\alpha_\tau(c, a(c,k), a(c,k+1)) \leq \beta$ для всех $c \in C$ и $k = 0, 1, 2, \dots, T_c$, где β - заданное число.

При этом на параметр α_τ накладываются условия:

$$\alpha_\tau(c, a(c,k), a(c,k+1)) \rightarrow 0; \text{ при } \tau \rightarrow \infty; \quad (35)$$

$$\sum_{\tau=1}^{\infty} \alpha_\tau(c, a(c,k), a(c,k+1)) \rightarrow \infty \quad (36)$$

Так как функция модели (5) - (9) является линейной, то, следуя результатам работ [5. С.58; 6], можно сделать вывод, что задача, представленная в рамках теории игр, имеет нормализованную ситуацию равновесия. Ее достижение обеспечивается поочередной оптимизацией работы каждого из рассматриваемых судов.

Таким образом, в отличие от большинства существующих разработок по оптимизации графика работы судов предложенный подход основан на декомпозиции технологического процесса перевозки грузов флотом на ряд подпроцессов по каждому конкретному судну. При этом каждое судно рассматривается как самостоятельный экономический объект с присущими ему интересами. Это позволило рассматривать задачу формирования графика работы флота в рамках неантагонистической бескоалиционной игры несколь-

ких лиц с полной информацией. Такой подход к решению задачи календарного планирования работы флота дает возможность применить для оптимизации многошагового процесса дискретный принцип максимума. В ходе решения задачи осуществляется поочередное улучшение параметра управления каждым подпроцессом работы судна. При этом определяется взаимное влияние работы судов, которое уточняется по принципу обратной связи после прохождения каждой очередной оптимизации, что обеспечивает реализацию принципов конкуренции равноправного партнерства и взаимной выгоды. В результате устанавливается оптимальный график работы судов, который учитывает наилучшую загрузку флота и наименьшие его простои в ожидании освобождения причалов в портах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Левый В.Д. *Оперативное управление работой флота*. - М.: Транспорт, 1981. - 157 с.
2. Шibaев А.Г. *Постановка и игровая модель задачи организации работы морских транспортных судов // Информационные технологии и системный анализ для транспорта: Сб. науч. тр. Ин-та киберн. НАН Украины*. - К., 1994. - С.45-49.
3. Оуэн Г. *Теория игр*. - М.: Мир, 1971. - 232 с.
4. Таха Х. *Введение в исследование операций: В 2 т. Пер. с англ.* - М.: Мир, 1985. - Т.2. - 496 с.
5. *Итеративные методы в теории игр и программировании /Под общ. ред. В.Э. Беленького, В.А. Волконского*. - М.: Наука, 1974. - 230 с.
6. Валах В.Я., Махуренко Г.С. *Алгоритм Неймана в декомпозиционном планировании // Вероятностные методы в кибернетике*. - К.: ИК АН УССР, 1979. - С. 4-12.

О МЕСЯЧНОМ ПЛАНИРОВАНИИ ПОГРУЗО- РАЗГРУЗОЧНЫХ РАБОТ В ПОРТУ

Г.С. Махуренко , О.Н. Степанов

Для достижения наиболее благоприятного и устойчивого режима работы порта необходимо, чтобы все звенья транспортного процесса были гармонично скоординированы по производственной мощности и во времени их взаимодействия.

Основными исходными характеристиками организации определённого режима работы порта являются:

- объём и структура грузооборота - годового, квартального и месячного;
- направления перевозок грузов;
- интенсивность поступления грузов в порт;
- грузоподъёмность судов, предназначенных для перевозки отдельной номенклатуры грузов;
- число причалов (погрузочных комплексов), их специализация и технологическая производительность;
- численность портовых рабочих;
- наличие складов;
- наличие механизации и др.

Для расчёта экономических показателей по отдельным вариантам работы порта исходными показателями являются:

- объёмы и структура заданного грузооборота ;
- себестоимость перегрузки грузов, в т.ч. дифференцированная по отдельным родам и специализированным причалам.

При многочисленных и довольно сложных взаимосвязях и взаимозависимостях эксплуатационно-технических и планово-экономических показателей, обуславливающих характер режима и эффективность работы портов во взаимодействии с флотом и другими видами транспорта, создать единую экономико-математическую модель, описывающую весь процесс работы порта, не представляется возможным. Поэтому под оптимальным режимом следует понимать наилучший вариант из числа рассматриваемых в конкретно сложившихся условиях. Оптимизацию текущей работы порта будем рассматривать в условиях наличных производственных ресурсов за счёт комплекса организационно-технических мероприятий, направленных на улучшение их использования, в целях ускорения обработки судов.

В этом случае будут произведены относительно небольшие дополнитель-

ные, главным образом эксплуатационные затраты порта, окупающиеся в кратчайшие сроки, в то время как в случае крупных капитальных вложений требуется экономическое обоснование с определением минимального срока окупаемости наилучшего проектного варианта.

Среди основных мероприятий, направленных на организацию работы порта в оптимальном режиме, необходимо отметить следующее:

- специализация причалов порта;
- внедрение передовой технологии и организации ПРР;
- достижение наибольшей технически возможной и экономически целесообразной концентрации механизированных линий на обрабатываемых судах;
- использование прямого варианта при загрузке (разгрузке) судов;
- выполнение одновременно с перегрузочными работами на судах всех вспомогательных операций, которые могут быть совмещены с первыми по технологии и требованиям техники безопасности при перегрузке грузов.

При организации работы портов на базе имеющихся ресурсов (причального фронта, механизации, контингента портовых рабочих и т.д.) под оптимальным режимом понимают такую организацию ПРР, при которой достигается максимальное сокращение стояночного времени судов в портах при минимальных совокупных расходах порта на ПРР и содержание флота в период грузовых и вспомогательных операций. Решение этой задачи достигается на основе улучшения использования имеющихся ресурсов и совершенствования всех звеньев перегрузочного процесса, в т.ч. и во взаимодействии портов с железнодорожным транспортом.

Под специализацией морских портов, а также отдельных участков и причалов понимается приспособленность их для перегрузки определенных грузов или прикреплением к определенным направлениям перевозок. Специализация, как показала практика, является одним из существенных условий улучшения показателей работы порта и, в частности, приводит к снижению трудовых затрат и средств на ПРР. В настоящее время в действующих портах для перевозки массовых грузов широко применяется внутривортовая специализация. Специализация причального фронта в портах являются составным элементом организации ПРР в оптимальном режиме. В связи с широким использованием специализации причального фронта при разработке мероприятий по обработке судов в оптимальном режиме представляется возможным рассматривать их применительно к каждому специализированному участку в отдельности или, что то же, по отдельным родам грузов, перегружаемым на взаимозаменяемых причалах.

Исходя из размера и структуры перевалочного грузооборота для получения оптимального режима работы порта, района необходимо рассчитать оптимальное число причалов, число потребных технологических линий, необходимую численность портовых рабочих, вагонооборот и другие показате-

ли производственной деятельности. Комплексное решение этих частных оптимизационных задач для получения гармоничного сочетания количественных характеристик всех звеньев перегрузочного процесса по единому критерию оптимальности является довольно сложным. Поэтому в теоретическом аспекте обычно рассматриваются частные оптимизационные задачи по отдельным составным звеньям перегрузочного процесса.

В частности рассмотрим задачу оптимального планирования погрузо-разгрузочных работ в порту (на терминале) в месячном разрезе. За основу может быть взято временное положение о месячном планировании и организации перевозок экспортных, импортных и транзитных грузов железнодорожным, морским и речным транспортом [1].

Перевозка экспортных, импортных и транзитных грузов, в том числе в контейнерах и пакетах (далее – грузы), железнодорожным, морским и речным транспортом осуществляется по месячным планам, согласованным между участниками перевозок, или по заявкам грузовладельцев, грузоотправителей, экспедиторов (далее – грузовладельцы).

Для перевозки экспортных, импортных и транзитных грузов железнодорожными или железнодорожно-водными путями сообщения грузовладельцы не позже чем за 20-25 дней до начала планового месяца дают дорогам отправки развернутые заявки на перевозку экспортных грузов, в которых отмечаются вид и количество груза в тоннах и вагонах, пограничные железнодорожные станции, морские и речные порты, через которые будут направляться эти грузы, страна назначения и грузополучатель (покупатель).

«Укрзалізниця», МВЭСТ, морские и речные порты, судо- и грузовладельцы не позже чем за 4 дня до начала планового месяца совместно согласовывают план перевозок экспортных, импортных и транзитных грузов, который утверждается Минтрансом и доводится до исполнителей.

Далее грузовладельцы и дороги отправки обеспечивают равномерную отгрузку плановых грузов. Нормы отгрузки экспортных, импортных и транзитных грузов в морских и речных портах устанавливаются исходя из месячных планов в тоннах и вагонах в среднем в сутки.

Фактическая потребность в вагонах ежедневно согласовывается с заявками портов.

Месячное планирование перевозок экспортных и импортных грузов морским и речным транспортом осуществляется в соответствии с заявками грузовладельцев.

Грузовладельцы при условии согласия портов на перегрузку и хранение грузов не позже чем за 25 дней до начала планового месяца подают украинским судовладельцам или фрахтовым организациям месячные заявки на перевозку грузов отечественными или иностранными судами с указанием вида и количества грузов, страны и порта отправки, страны и порта назначения, сроков подачи судов под погрузку или разгрузку.

В трехдневный срок с момента отфрахтования судна фрахтовая контора информирует об этом грузовладельца,

Судовладельцы или фрахтовые организации не позже чем за 16 дней до начала планового месяца вместе с портами составляют проект месячного графика размещения зафрахтованного флота, а к 17 числу предпланового месяца согласовывают его с грузовладельцами.

С целью улучшения размещения и фрахтования судов во время продажи или закупки экспортных и импортных товаров в большом количестве с длительной поставкой, грузовладельцы до заключения контрактов информируют судовладельцев или фрахтовые организации о предварительных объемах грузов, которые подлежат перевозке.

Для вывоза экспортных грузов на условиях FOB и ввоза импортных грузов на условиях CIF грузовладельцы к 15 числу предпланового месяца согласовывают с судовладельцами, морскими и речными портами месячный график подачи судов.

Особенность рассмотренной задачи заключается в том, что объемы грузопотоков, проходящих через порт, считаются заданными и требуется определить такой план переработки этих грузопотоков, чтобы обеспечить минимум расходов на ПРР. В этом случае порт рассматривается как сетевая система, которая описывается графом $G(X,U)$, где X - множество производственных фронтов (участков) порта;

$X = PUSUKUA$;

P - подмножество причалов;

S - подмножество складов;

K - подмножество железнодорожных фронтов;

A - подмножество автомобильных фронтов;

U - множество связей, существующих между производственными участками.

В целом модель месячного планирования ПРР может быть представлена следующим образом:

$$\sum_{i \in M} \sum_{j \in M} \sum_{r \in R} \sum_{v \in V} Cijrv * Xijrv \rightarrow \min$$

$$\sum_{j \in M_i^-} \sum_{v \in V} Xijrv + \sum_{j \in M_i^+} \sum_{v \in V} Xjirv \leq Bir, \forall i \in M, \forall r \in R$$

$$\sum_{i \in M_j^+} \sum_{v \in V} Xijrv \geq Q_{ir}^+, \forall r \in R, \forall i \in M^+$$

$$\sum_{j \in M_i^-} \sum_{v \in V} Xjirv \geq Q_{ir}^-, \forall r \in R, \forall i \in M^-$$

$$\sum_{i \in M} \sum_{v \in V'} X_{ijrv} - \sum_{i \in M} \sum_{v \in V'} X_{jirv} + Y_{jr}^1 = Y_{jr}^2, \forall j \in M, \forall r \in R$$

$$\sum_{i \in M} \sum_{j \in M} \sum_{r \in R} \sum_{v \in V'} t_{ijrvs} X_{ijrk} \leq T_s, \forall s \in S$$

$$X_{ijrv} \geq 0, Y_{jr}^2 \geq 0, \forall i \in M, \forall j \in M, \forall r \in R,$$

$$\forall v \in V.$$

В этой модели :

X_{ijrv} - количество груза g перерабатываемого между i -м и j -м производственными участками по варианту v ; C_{ijrv} - стоимость переработки груза g перегружаемого между i -м и j -м производственными участками по варианту v ; B_{ir} - пропускная способность i -го производственного участка при переработке груза g ; Q_r^+ - количество груза g прибывающего в порт по договорам в планируемом периоде; Q_r^- - количество груза g отбывающего из порта по договорам в планируемом периоде; Y_{jr}^1 - остаток груза g на складе j на начало периода; Y_{jr}^2 - остаток груза g на складе j на конец периода; M_i^+ - множество входящих связей в узел i ; M_i^- - множество выходящих связей из узла i ; M - множество производственных участков (узлов, фронтов) порта, M^+ - узлы порта, связанные с прибытием груза, M^- - узлы порта, связанные с отправлением груза; t_{ijrvs} - норматив времени ресурса s на перевалку 1 тонны груза g между i -м и j -м производственными участками по варианту v ; T_s - месячный бюджет времени ресурса s .

Целевая функция построена по критерию минимума расходов, далее :

- первое условие представляет ограничение по пропускной способности каждого производственного участка;
- второе и третье условие представляют ограничения по объёму перерабатываемых грузов по договорам в планируемом периоде.
- четвертое условие представляет уравнение движения остатков груза по складам порта;
- пятое условие представляет собой ограничение по бюджету времени используемых ресурсов.

Для решения модели нам необходимо рассчитать пропускную способность причалов, складов и железнодорожных фронтов, а также определить себестоимость обработки 1т каждого груза при переработке между i и j -м производственными участками.

Пропускная способность за месяц может быть определена:

$$P_{мес} = \frac{30 * P_{сут} * K_{зп} * K_{м}}{K_{мн}}, \text{ тыс.т.},$$

где $P_{сут}$ - суточная пропускная способность причала, т/сут;

$K_{зп}$ - коэффициент занятости причала в течении месяца.

Наличие в формуле данного коэффициента вызвано стремлением получить резерв производственной мощности причала для уменьшения простоев судов в ожидании очереди.

Принимаем:

$K_{зп}=0,65$ для сухогрузных причалов исходя из Норм технологического проектирования морских портов;

$K_{м}$ - коэффициент простоев причала по метеопричинам, $K_{м}=0,99$;

$K_{мн}$ - коэффициент месячной неравномерности грузооборота. Он рассчитывается

$$K_{мн} = \frac{Q_{мм}}{Q_{м}},$$

где $Q_{мм}$ - максимальный месячный грузооборот, т;

$Q_{м}$ - среднемесячный грузооборот по году, т.

Суточную производительность причала определим исходя из средней производительности механизированных линий имеющих на причале. Она рассчитывается по формуле

$$P_j = k_{тр} * P_{прj} + (1 - k_{тр}) * P_{склj},$$

где $k_{тр}$ - коэффициент транзитности груза;

$P_{прj}$ - производительность механизированной j-й линии причала по прямому варианту, т/сут;

$P_{склj}$ - производительность механизированной j-й линии причала по складскому варианту, т/сут.

Пропускная способность причала в сутки рассчитывается по формуле

$$P_{сут} = P_j.$$

Пропускную способность железнодорожных фронтов можно рассчитать по формуле

$$P_{жд} = c * n * T * k_{прос} * q_{в}, \text{ тыс.т.}$$

где c - количество подач вагонов в сутки;

n - количество вагонов в одной подаче;

T - время эксплуатационное, $T = 365$ сут;

$k_{прос}$ - коэффициент простоев, $k_{прос} = 0,9$;

$q_{в}$ - средняя загрузка одного вагона.

Пропускную способность складских площадок примем фактическую.

Расчет норматива себестоимости ПРР проводится по схемам и вариантам работ и рассчитывается по следующей формуле :

$$C_{ijrv} = \sum_{s \in S} Z_{ijrvs} t_{ijrvs} .$$

где Z_{ijrvs} – себестоимость использования ресурса s за единицу времени (час, минута) для перевалки груза g между i -м и j -м производственными участками по варианту v ; t_{ijrvs} – норматив времени использования ресурса s на перевалку 1 тонны груза g между i -м и j -м производственными участками по варианту v .

В данной работе дается краткое представление о целях и задачах месячного планирования в порту. Её развитие связано с созданием информационной системы удовлетворяющей требованиям транспортной политики и методологии применяемой к анализу и планированию ПРР. Создание информационной системы ПРР должно базироваться на новом измерении и концептуальном подходе к оценке взаимодействия между транспортом с одной стороны, и социо-экономической средой с другой стороны. На этом пути еще много работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Временное положение о месячном планировании и организации перевозок экспортных, импортных и транзитных грузов железнодорожным, морским и речным транспортом // Транспорт. – 1999. – № 40. С 33-34.*

НОВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ФОРМЫ ВНЕШНЕЭКОНОМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ УКРАИНЫ

И. В. Савельева

В настоящее время Украина значительно отстает от развитых стран в разработке и использовании современной инфраструктуры информационного обеспечения рынка товаров и услуг.

Из-за отсутствия соответствующих системно-рыночных преобразований Украина пока не в полной мере принимает участие в формировании новых мировых экономических отношений, которые создаются на основе внедрения новейших информационных технологий бизнеса, развития глобальных телекоммуникационных сетей, в том числе международной информационной сети Интернет, создания нового сектора торгово-экономического сотрудничества в области так называемой «электронной торговли».

Под «электронной торговлей» понимается торговля товарами и услугами через электронные сети, такие как EDI (электронный обмен данными) и Интернет. Сама по себе торговля с использованием электронных средств связи не является абсолютно новым процессом. Участники международных экономических отношений успешно используют телексную и телеграфную передачу данных при уторговывании условий сделки, заполнении проформы контрактов, передаче счетов на оплату и платежных поручений в безбумажном виде. Однако за последние несколько лет в сфере электронной связи произошла технологическая революция. Стремительное развитие электронного обмена данными, в том числе и на основе стандартов ЭДИФАКТ, электронной почты и Интернета радикально изменили способы осуществления торговых операций, которые, в свою очередь, еще более упростили процедуру внешнеторговой сделки. Сегодня мы являемся свидетелями мощного вторжения нового процесса в практику торговых операций - электронной торговли. Преимущество электронной торговли состоит в том, что она позволяет снизить издержки обращения на 20-30%, а в отдельных случаях - на порядок. Международная консалтинговая компания Forrester Research приводит следующие данные:

- себестоимость типичной банковской транзакции составляет: в филиале

банка – 1,07 дол., в банкомате – 0,27 дол., через Интернет – 0,01 дол;
 - себестоимость бронирования авиабилетов: в туристической фирме – 10,00 дол., через Интернет – 2,00 дол.;

- себестоимость брокерских услуг в торговле: индивидуальный брокер – 150 дол., групповой брокер (с максимальной скидкой) – 69 дол., Интернет – 10 дол.

Объемы электронной торговли интенсивно растут, о чем свидетельствуют данные диаграммы на рис 1. Если в 2000-м году общий объем электронных продаж товаров и услуг был на уровне 30 млрд. ам. дол, то к 2005 году ожидается уже 220-300 млрд .ам. дол.

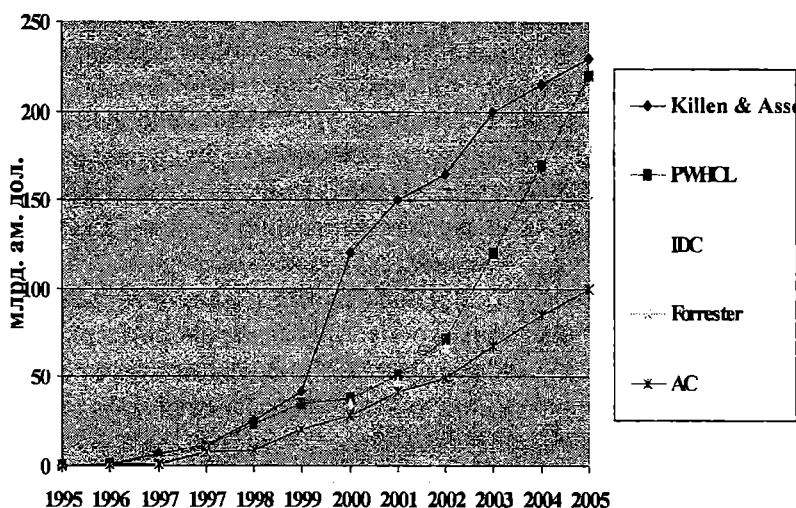


Рис. 1. Объемы продаж через сеть Интернет по данным консалтинговых компаний

Торговля через Интернет по своей природе интернациональна. Однако на сегодняшний день наибольшее распространение она получила во взаимоотношениях между США, Японией и странами ЕС.

Что касается секторов экономики, участвующих в электронной коммерции, то следует заметить, что традиционные отрасли индустрии оценили возможности, предоставляемые электронной торговлей, с некоторым запозданием, однако, осознав ее преимущества, немедленно инвестировали в прак-

тические разработки по этой теме и внедрению новых информационных решений значительные средства. Вызывает интерес тот факт, что в результате проведенных маркетинговых исследований, традиционные индустриальные компании отказались от прямой конкурентной борьбы с виртуальными соперниками и выбрали путь симбиоза или, как минимум, адаптации к новым условиям мировых торгово-экономических отношений. Так, автомобилестроительные корпорации Ford Motor, General Motors и DaimlerChrysler объявили о создании самой большой виртуальной биржи в мире. Базируясь на существующих корпоративных разработках, а также сервисе Интернет-биржи ANX, новая биржа предполагает иметь оборот в 240 млрд. дол. и обслуживать поставки комплектующих и запасных частей от десятков тысяч поставщиков со всего мира. Другие автомобилестроительные корпорации, такие, как Toyota, Renault и Nissan выражают свою заинтересованность в присоединении к этому проекту.

Крупнейшая американская сеть магазинов розничной торговли Sears&Roebuck совместно с сетью магазинов Carrefour также объявила о создании виртуальной биржи GlobalNet Exchange с планируемыми годовыми закупками товаров на сумму более 80 млрд. дол.

В агропромышленном комплексе было объявлено о создании Интернет-биржи Rooster.com. Учредителями ее стали крупнейшие мировые корпорации, работающие в этой сфере – Cargill, DuPont и Cenex Harvest. Биржа будет обеспечивать продажи сельскохозяйственного оборудования фермерам и предприятиям, а также продавать урожай.

В сфере транспорта, и в частности морского, значительные изменения произошли лишь в последнее время. Краткая хронология развития электронной коммерции в судоходстве выглядит следующим образом:

1996 – появление WWW-узлов компаний Maersk Line, Sea-Land Service, OOCL;

1997 – появление WWW-узла компании APL;

1998 – появление WWW-узлов компаний FedEx, UPS, портала InterBox;

1999 – появление портала bolero.net, etransport.com, raterequest.com, новых возможностей на узлах APL и Panalpina;

2000 – P&O Nedlloyd присоединяется к portalу AsiaShipper.com, Evergreen присоединился к bolero.net, Yang Ming предлагает логистику в Интернет, UPS и P&O Nedlloyd предлагают совместный Интернет-проект по информационному обслуживанию грузов, перевозимых между США и Китаем;

2000 – GTNEXUS.com объединивший азиатских контейнерных перевозчиков;

2001 – создание портала intra.com, объединившего Maersk Sealand, Safmarine, Allianca MSC и других интермодальных операторов, контролирующих 35% мирового рынка контейнеров.

Основной движущей силой внедрения механизмов электронной торговли

в повседневную работу субъектов деловой активности, в том числе морских судоходных компаний, являются значительные возможности, открывающиеся в сфере информационного взаимодействия между партнерами. В последнее время клиенты обращают все большее внимание на качество предоставляемой информации и вообще на уровень информационного взаимодействия с поставщиками товаров и услуг. Конкуренция между субъектами предпринимательства также сдвигается от ориентации на материальные фонды в сторону информационной составляющей.

Качество предоставляемой информации становится основным конкурентным параметром, поскольку развитие информационных технологий позволит клиентам непосредственно сравнивать транспортные компании между собой и производить выбор партнера по индивидуальным критериям.

Расширение круга стран-участниц Всемирной торговой организации и принятие в рамках этой организации Соглашения по основным средствам связи (Agreement on Basic Telecommunications) создают реальные возможности для организации глобального рынка электронной торговли. В то же время следует отметить, что эта область социально-экономических взаимоотношений пока не имеет жестких законов и определенных правовых норм и правил поведения. Поэтому необходимо разработать глобальную правовую базу для регулирования следующих вопросов:

- правила доступа к ресурсам - регламентирование доменных имен на международном уровне;
- аутентификация – юридическая поддержка вопросов обеспечения безопасности соединений, кодирования передаваемой информации, электронных подписей;
- соблюдение прав интеллектуальной собственности – международные торговые марки, защита от незаконного копирования;
- разрешение споров – выбор законодательства для заключения международных контрактов;
- защита прав потребителя – применимые законы в непрямых продажах;
- защита частной жизни и информации – предотвращение распространения электронного «мусора» (spamming), и несанкционированного доступа (затронута директивой ЕС 1995 года);
- незаконное или опасное информационное содержание – необходимы точные толкования такового и определение ответственности.

Помимо регулирования правового поля взаимодействия между субъектами торгово-экономических и иных отношений в Интернет, существуют и другие вопросы, решение которых требует вмешательства государственных органов управления. В первую очередь, - это вопросы налогообложения сделок, производимых в виртуальном бизнес-пространстве, и, соответственно, получаемой в нем прибыли. Пока еще нет каких-либо электронных налогов, в большинстве стран мира применяются обычные налоги традиционных про-

даж, такие как НДС. Но и эти налоги собрать достаточно сложно, поскольку непонятно, на каком законодательстве они должны базироваться – по месту нахождения продавца, покупателя, склада отгрузки, производителя товара, или сервера, на котором заключалась сделка. А в ситуациях с продажей электронных продуктов, как например, программного обеспечения, применение существующих налогов еще более проблематично. Ситуация усугубляется требованиями таможенного и акцизного законодательств различных стран.

Решением этих вопросов занимаются органы, вырабатывающие международные требования и рекомендации по процедурам и правилам торговли, а именно Комиссия по предпринимательству, упрощению деловой практики и развитию в рамках Конференции ООН по торговле и развитию (ЮНКТАД), Комиссия ООН по праву международной торговли (ЮНСИТРАЛ) и Центр по упрощению процедур международной торговли (СЕФАКТ) в рамках Европейской экономической комиссии. Кроме того, в апреле 1998 года в рамках СЕФАКТ была создана специальная рабочая группа по вопросам электронной торговли. Помимо этого, Международная торговая палата разрабатывает базу данных по терминологии электронной торговли, которую можно использовать в коммерческих контрактах. Однако кардинальные решения обозначенных проблем еще не выработаны.

Украина пока находится несколько в стороне от процесса расширения участия в международной электронной коммерции, хотя и у нас уже функционируют несколько десятков виртуальных магазинов. Главная проблема, с которой столкнулись их создатели - неразвитость инфраструктуры для электронных платежей и узкий круг людей, имеющих кредитные карточки.

Вместе с тем, в современных условиях развития мирохозяйственных связей и распространения передовых информационных технологий задача организации охвата Украины международной системой электронной торговли может стать одной из приоритетных. Создание такой системы состоит в увязке в единый комплекс интересов клиентов (потребителей товаров и услуг) и торговых организаций, фирм, банков и процессинговых компаний, призванных на коммерческой основе удовлетворить запросы потребителей с учетом накладываемых государством ограничений. Направленность этих ограничений - исключение ухода от налогов и обмана потребителей. Главными инструментами системы ограничений являются лицензирование деятельности организаторов торговли и сертификация применяемых ими средств, прежде всего программных.

Говоря о цели развития электронной торговли, прежде всего следует подчеркнуть, что создание современной информационной инфраструктуры рынка товаров и услуг в Украине, интеграция ее в мировые рынки обеспечит кардинальное снижение непроизводительных издержек в украинской экономике, высвобождая значительные ресурсы для возобновления экономического роста без соответствующих затрат.

Кроме того, использование электронной торговли позволяет обеспечить ряд выгод, непосредственно не связанных с повышением прибыльности, таких как создание условий для предотвращения криминализации рыночных процессов, утечки капиталов за рубеж и др. Вместе с тем следует учесть, что коммерческие возможности, вытекающие из электронной торговли, в значительной мере определяются спецификой сектора торговли, а также индивидуальными особенностями страны и зависят от структуры торговли, контингента пользователей Интернета на местном рынке и других факторов.

Что касается облика предполагаемых систем электронной торговли, то при его формировании в настоящее время необходимо учитывать следующие требования:

- безопасность обмена данными, в том числе за счет использования собственных защищенных каналов связи;
- поддержание стандартов и следование признанным международным сообществом процедурам торговой сделки;
- исключение «ухода» от налогов и создание дохода государству сборами с каждой сделки;
- обеспечение возможности сбора информации о сделках для удовлетворения потребностей государственной статистики.

На сегодняшний день в мире сложились две области применения электронной торговли. Первая - «бизнес-потребитель». Это электронная торговля с непосредственными потребителями товаров, т.е. розничная торговля. Вторая - «бизнес-бизнес», т.е. электронная торговля между бизнес-партнерами. Из анализа документов ЮНКТАД видно, что, принимая решения относительно построения систем электронной торговли, как для розничных, так и для оптовых операций, необходимо учитывать ряд факторов, включая следующие:

- главный рынок сбыта, географическая концентрация торговых операций и предполагаемая форма этих операций;
- товары и услуги, которые будут предлагаться для продажи в настоящее время и в обозримом будущем через разрабатываемую систему;
- пригодность существующих систем торговли и снабжения на базе Интернет в качестве средств развития бизнеса;
- наличие требуемых технических знаний у потенциальных участников торговли;
- наличие и приемлемая стоимость доступа к Интернет потенциальных участников торговли;
- доступность и стоимость информации о товарных рынках и партнерах;
- наличие альтернатив в области финансирования, управления рисками и организации платежей для разрабатываемой системы.

Первоочередными мероприятиями по организации и совершенствованию условий электронной торговли в Украине должны стать:

- разработка и формирование правовой базы для ведения торговых опе-

раций на основе использования новейших информационных и телекоммуникационных технологий;

- разработка и внедрение системы государственной поддержки электронной торговли в Украине.

Говоря о разработке и формировании правовой базы для электронной торговли, следует также обратить внимание на степень юридической силы, действительности и исковой силы электронных сообщений. И хотя в настоящее время предпринимаются энергичные усилия для обеспечения юридической действительности электронных документов и приемлемости цифровых подписей и других процедур установления подлинности документов, используемых в коммерческих операциях, во многих странах, в том числе и в Украине, законодательство в этих областях все еще только разрабатывается. В этой связи ЮНКТАД рекомендовала странам-участницам электронных сделок при создании нормативно-правовой базы использовать Типовой закон ЮНСИТРАЛ об электронной торговле, конкретизировав его соответствующие положения исходя из сложившихся условий каждой страны⁶ (цифровая подпись, закупки для государственных нужд и др.).

Подводя итог всему вышесказанному, хочется еще раз подчеркнуть неоспоримую важность своевременной интеграции Украины в мировое информационно-экономическое пространство путем развития и совершенствования собственной инфраструктуры информационной поддержки рынка товаров и услуг и адаптации ее к современным международным требованиям. Участие украинских предпринимателей в новых мировых торгово-экономических отношениях обеспечит скорейшее внедрение в отечественные системы электронной торговли соответствующих международных процедур и правил торговых операций и позволит стать полноправными участниками электронной коммерции, обеспечивающей целый ряд выгод и преимуществ, основными из которых являются следующие:

- электронная торговля приводит к глобальному сокращению расходов на проведение торговых операций (транзакционные издержки) и позволяет частично решить проблемы, связанные с традиционно невыгодным географическим расположением, особенно проблемы, порожденные большими расстояниями;

- электронная торговля создает условия для прямых контрактных отношений между продавцами и покупателями, она способствует появлению новых участников на растущем числе рынков. В этих условиях малые и средние предприятия могут успешно конкурировать даже на международных рынках;

- поскольку в основе электронной торговли лежат информационные сети и потоки, она улучшает информационное обеспечение рынков: покупатели и продавцы практически мгновенно получают информацию о ценах, качестве сервиса и условиях поставки, предлагаемых различными конкурентами. Это

обстоятельство особо важно при организации закупок для государственных нужд;

· технология электронной торговли сама по себе способна к предотвращению ряда негативных явлений, таких как криминализация рыночных процессов, уклонение от уплаты налогов, утечка капиталов за рубеж.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кобелев О.А. *Современный финансовый рынок. Финансы и статистика, 1999. – 108 с.*
2. *Strategies & Forecasts. The strategic Group, Feb. 2000.*
3. *WTO monthly bulletin №№ 10, 11, 2000.*

К ПРОБЛЕМЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОРТОВОГО ЛОГИСТИЧЕСКОГО ДИСТРИБУТИВНОГО ЦЕНТРА

И. В. Боделан

Анализ тенденций развития международной торговли и функционирования мировой транспортной системы свидетельствует о широком использовании новых прогрессивных технологий перевозки и перегрузки грузов, основанных на комбинированных и интермодальных (мультимодальных) перевозках, а также применении логистических принципов. Современную концепцию логистического управления материальными потоками с точки зрения потребительского сервиса можно кратко сформулировать следующим образом: нужный товар заданного качества в заданное время и с минимальными затратами [1]. При этом затраты учитывают как себестоимость производства товара, так и затраты на логистические операции по его физическому распределению в системах дистрибуции товаропроизводителей и торговых посредников. В структуре логистических затрат транспортные расходы составляют от 20 до 70 % и более, поэтому транспорт играет ключевую роль в создании логистических систем. По зарубежным оценкам передача специфических логистических функций и операций фирмами–производителями логистическим посредникам позволяет в несколько раз сократить собственные расходы фирм на эти цели, ускорить оборачиваемость капитала на 20-40%, снизить запасы материальных ресурсов и готовой продукции в товаропроводящих сетях на 50-70% [1].

Развитие современной промышленности привело к организации нового производственного этапа – сборке готовой продукции на промежуточных складах, расположенных, как правило, на значительных расстояниях от самого производителя. Такие организационные решения способствуют увеличению грузопотоков, ужесточению временных параметров доставки груза и требуют больших вложений в транспортные коммуникации.

При перевозке груза любой грузовладелец ищет наиболее дешевый, быстрый и надежный способ доставки груза потребителю, доверяя свой груз экспедитору. Например, в осуществлении не самой сложной международной сделки обычно принимает участие до 20 посредников: экспортеры, импортеры, транспортные, агентские, экспедиторские и страховые компании, банки, оптовые торговые посредники и др. При этом используется до 40 оригинальных документов, создание которых связано с большими трудозатратами, а выбор пути доставки груза представляет собой сложную многовариантную и

многокритериальную оптимизационную задачу.

В логистическом контексте роль экспедитора значительно возрастает, увеличивается число функций, выполняемых им. Экспедитор становится архитектором транспортного процесса, активно участвуя в реализации все большего числа этапов перемещения груза. Типичным явлением сегодня становится качественное изменение экспедиторских компаний, заключающееся в постепенном превращении их в операторские фирмы.

Еще одной тенденцией в сфере транспортно-логистических услуг служит образование сети так называемых логистических дистрибутивных центров (или транспортно-складских центров) [2,3]. Такие центры позволяют концентрировать грузы, отправляемые малыми партиями, повагонными и малыми отправками и требующие специализированного подвижного состава, специализированных технологий перегрузки, складов и перегрузочного оборудования. Логистические дистрибутивные центры (ЛДЦ) позволяют формировать устойчивые крупные грузопотоки по основным направлениям перевозки, накапливая небольшие партии грузов в глубине страны и соединяясь регулярными сообщениями с крупными транспортными узлами. Примером такого рода может служить широкая сеть европейских транспортно-складских центров системы «Европлатформс» (Бордо, Марсель, Париж, Руан, Страсбург, Ливорно, Неаполь, Парма, Турин, Барселона, Мадрид, Севилья, Бремен, Манчестер, Глазго и др).

Как показывает зарубежная практика, ЛДЦ наиболее эффективно функционируют на базе морских портов. Классическим примером может служить порт Роттердам, где для улучшения железнодорожного обслуживания порта и привлечения в порт грузов введено регулярное сообщение объединенных поездов, связывающее Роттердам с Австрией, Швейцарией и югом Германии. Эти поезда представляют собой специализированные контейнерные железнодорожные составы, курсирующие по определенному маршруту. Создание ЛДЦ – сложная организационная, экономическая и техническая проблема, первым этапом решения которой должно быть технико-экономическое обоснование соответствующего проекта. При проектировании таких сложных объектов обычно прибегают к моделированию их функционирования после ввода в эксплуатацию. Это необходимо для корректного с научной точки зрения расчета основных показателей эффективности функционирования ЛДЦ, четкой формулировки и решения задачи оптимизации их основных технических и технологических параметров и др.

На рисунке схематично изображен портовый ЛДЦ. Относительно небольшие грузовые партии завозятся равномерно железнодорожным или автомобильным транспортом в ЛДЦ, где из них формируются более крупные партии по направлениям перевозки на морских судах.

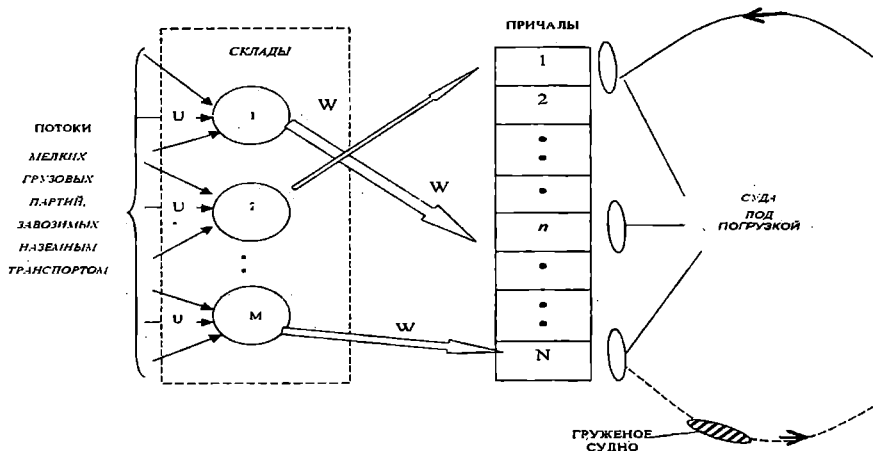


Рис. Структурная схема портового дистрибутивного логистического центра

Учитывая специфический характер функций, выполняемых ЛДЦ, для его математического моделирования естественно использовать такие разделы исследования операций как теорию массового обслуживания и теорию запасов. Методы исследования такого рода производственных систем, обладающих одновременно признаками обслуживающих систем и систем управления запасами, разработаны в [4-6].

Опишем функционирование ЛДЦ на формализованном языке указанных двух теорий (см. рисунок). Пусть на склады ЛДЦ завозятся равномерно со скоростями U_1, U_2, \dots, U_M грузы, следующие в M направлениях морским путем. Погрузка грузов со складов на суда производится на N взаимозаменяемых причалах, причем погрузка груза, следующего в m -ом направлении, производится с интенсивностью $W_m > U_m$, $m = 1, 2, \dots, M$. Грузоподъемности всех судов предполагаются независимыми в совокупности случайными величинами с общей функцией распределения $G(x)$. Как правило, суда прибывают в порты неравномерно, т.е. в случайные моменты времени. Для учета этой неравномерности обычно считают, что поток судов, прибывающих в порт, подчинен закону распределения Пуассона, что подтверждается многократно проводимыми статистическими проверками. Это означает, что вероятность того, что в интервале времени $(0, t)$ в порт придет ровно k судов за грузом, следующим в m -ом направлении, равна

$$P_k(t) = \frac{(\lambda_m t)^k}{k!} e^{-\lambda_m t}, \quad k = 0, 1, 2, \dots,$$

где λ_m - интенсивность потока судов.

Будем также предполагать, что потоки судов, прибывающих за грузами разных грузопотоков, статистически не зависят друг от друга. Наконец, прием, что максимально возможная длина очереди судов, ожидающих начала погрузки, не может превышать величины r . Таким образом, максимально возможное число судов, которое может находиться в нашей обслуживающей системе, в любой момент времени равно $N + r$.

Если в некоторый момент времени в течение погрузки судна грузом m -го направления соответствующий склад опустошается, то интенсивность погрузки скачком снижается со значения W_m до U_m и погрузка производится по прямому варианту. Если при этом имеется несколько таких судов, то погрузка продолжается только одного судна, которое раньше других начало обрабатываться.

Вместимости складов будем считать достаточно большими, т.е. будем пренебрегать вероятностью ситуации, когда суда дополнительно простаивают из-за снижения интенсивности погрузки вследствие заполнения всей складской емкости.

Поведение описанной транспортно-складской системы в любой момент времени характеризуется случайным вектором

$$\zeta(t) = (v_1(t), \dots, v_M(t), \sigma(t); \xi_1(t), \dots, \xi_M(t)).$$

где $v_m(t)$ - число судов, находящихся под погрузкой груза m -го грузопотока в момент t ;

$\sigma(t)$ - число судов, ожидающих начала погрузки в очереди в момент t ;

$\xi_m(t)$ - количество груза m -го грузопотока, находящегося на складе в момент t .

Очевидно, что $\sigma(t) = 0$, если $v_1(t) + \dots + v_M(t) < N$.

Конечной целью нашего анализа является нахождение распределения случайного процесса $\zeta(t)$, знание которого позволит вычислить математические ожидания и дисперсии компонент $v_m(t)$, $\sigma(t)$ и $\xi_m(t)$. Располагая числовыми характеристиками этих случайных величин, можно оценить основные экономические показатели эффективности работы системы такие, как, например, средние суммарные приведенные затраты, связанные с созданием и эксплуатацией ЛДЦ, или ожидаемую прибыль от его функционирования. Обычно эти показатели рассчитывают для установившегося режима работы сис-

темы, т.е. при $t \rightarrow \infty$, поэтому будем интересоваться предельным распределением процесса $\zeta(t)$. В общем случае нахождение такого предельного распределения для описанной выше модели ЛДЦ – чрезвычайно трудная в математическом отношении задача, которая может быть решена только численно путем построения и реализации на ЭВМ соответствующей имитационной модели. Сложность аналитического исследования объясняется двумя причинами:

1) предположением о произвольном законе распределения $G(x)$ грузоподъемности судов и о произвольном числе причалов N ;

2) наличием скачкообразного изменения интенсивности погрузки судов при опустошении складов.

Практически наша задача становится обозримой даже на стадии своей постановки только в случае $N = 1$, т.е. единственного причала, и

$$G(x) = 1 - e^{-x/g}, \quad x \geq 0,$$

т.е. показательного закона распределения грузоподъемности судов. При этом процесс $\zeta(t)$ становится однородным марковским со следующим фазовым пространством состояний:

$$\Omega = \left\{ (i; l; x_1, \dots, x_M) : i = 1, 2, \dots, M; \quad l = 0, 1, 2, \dots, r; \quad x_1, \dots, x_M \geq 0 \right\} \cup \\ \cup \left\{ (x_1, \dots, x_M) : x_1, \dots, x_M \geq 0 \right\}$$

$$F_0(x_1, \dots, x_M) = \lim_{t \rightarrow \infty} P \left\{ v_1(t) = 0, \dots, v_M(t) = 0; \quad \xi_1(t) \leq x_1, \dots, \xi_M(t) \leq x_M \right\},$$

$$F_m(x_1, \dots, x_M) = \lim_{t \rightarrow \infty} P \left\{ v_m(t) = 0, v_i(t) = 0, i \neq m, \sigma(t) = l; \quad \xi_1(t) \leq x_1, \dots, \xi_M(t) \leq x_M \right\}$$

(в предположении существования этих пределов).

Марковские процессы такого типа относятся к классу линейчатых процессов [6]. Используя методику исследования таких процессов [5, 6] для введенных функций, можно вывести систему дифференциальных уравнений в частных производных и соответствующих граничных условиях.

Приведем эту систему, ограничиваясь для простоты, случаем $M = 2$. Основная система дифференциальных уравнений:

$$\left(U_1 \frac{\partial}{\partial x_1} + U_2 \frac{\partial}{\partial x_2} \right) F_0(x_1, x_2) = -\lambda F_0(x_1, x_2) + \mu_1 F_1(0; x_1, x_2) + \mu_2 F_2(0; x_1, x_2), \quad x_1, x_2 > 0,$$

$$\begin{aligned} \left(-V_1 \frac{\partial}{\partial x_1} + V_2 \frac{\partial}{\partial x_2} \right) F_1(l; x_1, x_2) = & -[\lambda e(r-l) + \mu_1] F_1(l; x_1, x_2) + (1-e(l)) \lambda_1 F_0(x_1, x_2) + \\ & + \lambda e(l) F_1(l-1; x_1, x_2) + \frac{\lambda_1}{\lambda} \mu_1 e(r-l) F_1(l+1; x_1, x_2) + \\ & + \frac{\lambda_1}{\lambda} \mu_2 e(r-l) F_1(l+1; x_1, x_2), \quad x_1, x_2 > 0; l = 0, 1, \dots, r; \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \left(U_1 \frac{\partial}{\partial x_1} - V_2 \frac{\partial}{\partial x_2} \right) F_2(l; x_1, x_2) = & -[\lambda e(r-l) + \mu_2] F_2(l; x_1, x_2) + (1-e(l)) \lambda_2 F_0(x_1, x_2) + \\ & + \lambda e(l) F_2(l; x_1, x_2) + \frac{\lambda_2}{\lambda} \mu_1 e(r-l) F_2(l+1; x_1, x_2) + \frac{\lambda_2}{\lambda} \mu_2 e(r-l) F_2(l+1; x_1, x_2), \\ & x_1, x_2 > 0, \quad l = 0, 1, \dots, r, \end{aligned}$$

где $\lambda = \lambda_1 + \lambda_2$; $V_m = W_m - U_m$; $\mu_m = \frac{W_m}{g}$, $m = 1, 2$; $e(k) = 1$, если $k > 0$, $e(0) = 0$.

Граничные условия:

$$\begin{aligned} U_1 \frac{\partial}{\partial x_1} F_2(l; x_1, 0) - V_2 \frac{\partial}{\partial x_2} F_2(l; x_1, 0) = & -[\lambda e(r-l) + \mu'_2] F_2(l; x_1, 0) + \\ & + \lambda e(l) F_2(l-1; x_1, 0) + \frac{\lambda_2}{\lambda} \mu'_2 e(r-l) F_2(l+1; x_1, 0), \quad x_1 > 0; \quad l = 0, 1, \dots, r; \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} U_2 \frac{\partial}{\partial x_2} F_2(l; 0, x_2) - V_1 \frac{\partial}{\partial x_1} F_1(l; 0, x_2) = & -[\lambda e(r-l) + \mu'_1] F_1(l; 0, x_2) + \\ & + \lambda e(l) F_1(l-1; 0, x_2) + \frac{\lambda_1}{\lambda} \mu_2 e(r-l) F_1(l+1; 0, x_2), \quad x_2 > 0; \quad l = 0, 1, \dots, r; \\ F_0(0, x_2) = F_0(x_1, 0) = & 0, \end{aligned} \quad (3)$$

$$F_1(l; x_1, 0) = F_2(l; 0, x_2) = 0, \quad x_1, x_2 \geq 0, \quad l = 0, 1, \dots, r,$$

где $\mu'_m = \frac{U_m}{g}$.

К этим уравнениям следует также добавить условие нормировки

$$F_0(\infty, \infty) + \sum_{l=0}^r [F_1(l; \infty, \infty) + F_2(l; \infty, \infty)] = 1 \quad (4)$$

При выводе уравнений (1)-(2) предполагалось, что в момент ухода погруженного судна, следующее судно загружается грузом m -го грузопотока с вероятностью λ_m / λ независимо от других судов, ранее покинувших систему.

Граничные условия (2) описывают ситуацию, когда опустошается какой-либо один склад и интенсивность погрузки скачкообразно снижается.

Применение двойного преобразования Лапласа к системе (1), (2) с учетом условий (3) приводит к сложной краевой задаче теории функций двух комплексных переменных. Методы решения подобных задач рассмотрены в монографии [7].

Важным качественным свойством изучаемой модели ЛДЦ являются условия существования установившегося режима его работы (или условия эргодичности процесса $\zeta(t)$). Общий смысл этих условий состоит в том, что средняя интенсивность завоза грузов на склады должна быть меньше, чем средняя интенсивность их вывоза со склада.

В принятых выше обозначениях эти условия могут быть записаны следующим образом:

$$U_m F_0(\infty, \infty) < V_m \sum_{l=0}^r F_m(l; \infty, \infty), \quad m = 1, 2.$$

При этом разность между правой и левой частями этих неравенств имеет смысл среднего резерва пропускных способностей складов.

Определив из решения задачи (1)-(4) распределение вероятностей $\{F_0(x_1, x_2), F_m(l; x_1, x_2)\}$, можно найти явные выражения для математических ожиданий $\mathbf{M} \xi_m$ и дисперсий $\mathbf{D} \xi_m$ количества груза, находящегося на складах. Это позволит при помощи неравенства Чебышева оценить потребную вместимость складов E_m по формуле

$$E_m = \mathbf{M} \xi_m + \left(\frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon} \mathbf{D} \xi_m \right)^{1/2},$$

где ε - достаточно малая доверительная вероятность ($\varepsilon = 0,5 - 0,05$).

ЛИТЕРАТУРА

1. Гаджинский А.М. Основы логистики. Учебное пособие. – М.: Маркетинг, 1996. – 122 с.
2. Основы организации транспортного обеспечения внешнеторговых связей Украины/ Под ред. Ю.М. Цветова. – К: ОАО «ИКТП-Центр», 2000. – 582 с.
3. Воробьёв Ю.Л., Морозова И.В. Транспортные логистические системы // Судоходство. – 2000. - № 10. – С. 8-9.
4. Постан М.Я. Моделирование взаимодействия транспортных потоков в пунктах перевалки грузов. – Дис... докт.эконом.наук. – Одесса, 1990. – 380 с.
5. Постан М.Я. Об унифицированных схемах моделирования взаимодействия транспортных потоков в пунктах перевалки грузов //ВИНИТИ. Транспорт: наука, техника, управление. – 1992. - № 6. – С. 8-20.
6. Постан М.Я. Стохастическая модель простейшей транспортно-складской системы с перегрузкой неоднородного груза //ВИНИТИ. Транспорт: наука, техника, управление. – 1992. - № 3. – С. 14-21.
7. Гнеденко Б.В., Коваленко И.Н. Введение в теорию массового обслуживания. – М.: Наука, 1987. – 336 с.
8. Коэн Дж., Боксма О. Граничные задачи в теории массового обслуживания. – М.: Мир, 1987. – 272 с.

УДК 689.12-8.004.5.001.5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ В ЭКСПЛУАТАЦИИ

В.Г.Ивановский, Р.А.Варбанец

Известно, что некоторые параметры рабочего процесса дизеля могут быть определены с большой точностью по индикаторной диаграмме [1, 2]. В таблице 1 приведены основные из числа параметров рабочего процесса, которые наиболее полно отражают качество его протекания. На рис. 1 показана обобщенная индикаторная диаграмма рабочего процесса. На рис. 1,а приведены такты сжатия и расширения, качественная картина которых одинакова как для 2-х, так и для 4-х тактных дизелей. На рис. 1,б условно отмечены фазы газораспределения 4-х тактного дизеля на тактах выпуска и всасывания. Здесь и в дальнейшем рассматриваются индикаторные диаграммы, записанные в память компьютера с помощью модулей аналого-цифрового преобразования. Диаграммы записываются путем дискретизации аналоговых сигналов от соответствующих датчиков и впоследствии могут быть обработаны и проанализированы с помощью методов численного анализа. Для записи диаграмм использовались промышленные АЦП: L-264 (12 бит, 200 кГц, ISA, производства L-Card, Россия) и DAS16/S12 (12 бит, 100 кГц, PCMCIA, производства Computer Boards США). Интегральная и дифференциальная нелинейности преобразования обоих плат составляет 0,5 мзр.

Формула для подсчета требуемой минимальной частоты преобразования сигнала модулем АЦП выглядит следующим образом :

$$\nu_{АЦП}^{\min} = \frac{6nk}{\Delta\varphi}, \quad (1)$$

- где $\nu_{АЦП}^{\min}$ - частота преобразования АЦП в Гц;
 n - обороты двигателя в минуту;
 k - количество измеряемых каналов;
 $\Delta\varphi$ - требуемый шаг между измерениями в °ПКВ.

Поскольку обработка каждого из каналов осуществляется последовательно, необходимо учитывать фазовый сдвиг между данными в одной точке. Для АЦП с частотой преобразования 100 кГц при индицировании дизеля с частотой вращения коленчатого вала равной 1000 об/мин фазовый сдвиг между каналами составит $0,06^\circ$ ПКВ, что является вполне приемлемым, и полученные данные можно рассматривать, как измеренные в один момент времени. В любом случае, поскольку фазовый сдвиг $\Delta\psi^\circ$ между каналами линейно зависит от частоты дискретизации АЦП, его всегда можно учитывать при дальнейшей обработке полученных диаграмм по формуле

$$\Delta\psi = \frac{6n}{v_{\text{АЦП}}}.$$

При проведении исследований использовались датчик давления PS-16 и вибродатчик VS-20, входящие в состав диагностической системы DEPAS [2,3]. С целью проверки точности определения параметров рабочего процесса вышеупомянутыми датчиками дополнительно использовались тензометрические датчики давления и индуктивные датчики перемещения, разработанные на кафедре ДВС ОГМУ и описанные в справочнике [4]. Данные типы датчиков нашли широкое применение в исследованиях процессов топливоподачи и рабочего процесса дизелей в лабораториях ОГМУ, НКИ, ОГМА, ЦНИДИ и других организациях. Исследования проводились на экспериментальных стендах для испытания топливной аппаратуры [4], а также в судовых условиях на дизелях ЧН 25/34, RND76, VASA 9R32 и др.

По индикаторной диаграмме $p(\varphi)$ определяется основной параметр, характеризующий цилиндровую мощность - среднее индикаторное давление p_i . После определения основных величин давлений и углов: максимального давления сгорания и соответствующего угла ПКВ (p_z, φ_{pz}), максимального давления сжатия p_c , давления и угла начала самовоспламенения топлива p_{ce}, φ_{pe} и др., возможна точная оценка таких производных параметров, как максимальная скорость нарастания давления при сгорании топлива v_m , степень повышения давления λ , а также угол или период задержки воспламенения топлива, считая от момента подъема иглы до начала повышения давления при сгорании (от угла $\varphi_{оп}$ до φ_{pe}). Методика определения основных параметров рабочего процесса приведена далее.

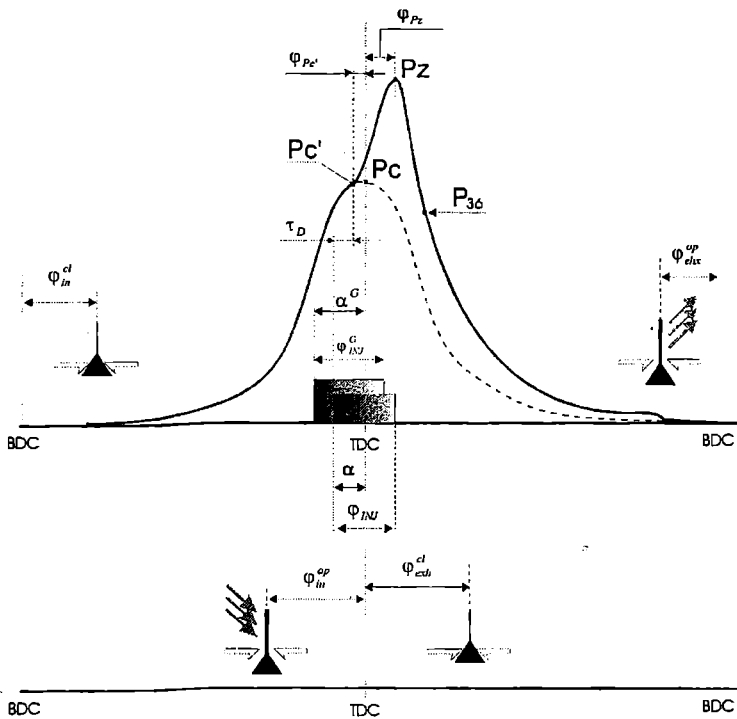


Рис.1. Основные параметры рабочего процесса дизеля определяемые в режиме диагностирования

В процессе исследований использовался математический аппарат, включающий в себя задачи интерполяции данных и численного дифференцирования [6]. Приведем его краткое описание.

В результате аналого-цифрового преобразования сигналов от датчиков в память компьютера записывались временные реализации измеряемого процесса в виде функций $y_i = f(x_i)$, определенных в дискретных равноудаленных точках x_i ,

$$x_i = x_0 + i\Delta x (i = 0, \dots, n),$$

где $n+1$ - число дискретных отсчетов функции;

x_0 - начало отсчета аргумента x ;

Δx - шаг дискретизации.

Частота дискретизации исходного процесса подбиралась согласно требованиям формулы (1) при $\Delta\varphi \leq 0,5^\circ$. Задача состояла в получении значений функции $y_i = f(x_i)$ в некоторых промежуточных точках, в общем случае не совпадающих ни с одним из записанных значений $x_i, i = 0, \dots, n$ (узлов интерполяции). Для решения этой задачи выбирался набор базовых функций

$\{\varphi_0(x), \dots, \varphi_N(x)\}$, по которым строилась общая интерполирующая функция $P(x) = \sum_{j=0}^N a_j \varphi_j(x)$, коэффициенты a_j которой определялись из условия $P(x_i) = y_i (i = 0, \dots, n)$. После этого в качестве интерполированного значения функции $\hat{f}(x)$ в точке x принималось значение в этой точке интерполирующей функции $\hat{f}(x) = P(x)$, при условии $x_0 \leq x \leq x_n$. В качестве интерполирующих функций применялись многочлены Лагранжа, записанные для случая при равноотстоящих узлах.

Таблица 1.

Обозначения	Параметры
P_i, N_i	Среднее индикаторное давление, индикаторная мощность цилиндра
n	Частота вращения коленчатого вала
P_c, φ_{pc}	Давление и угол начала самовоспламенения топлива
P_z, φ_{pz}	Максимальное давление сгорания топлива и соответствующий угол °ПКВ за ВМГ
P_c	Максимальное давление сжатия
v_m	Максимальная скорость нарастания давления при сгорании
λ	Степень повышения давления при сгорании
P_{exp}	Давление на линии расширения (36° ПКВ за ВМГ)
α, φ_{inj}	Действительные - угол опережения и угол впрыска топлива
$\alpha^G, \varphi_{inj}^G$	Геометрические - угол опережения и угол впрыска топлива
φ_{DEL}, τ_i	Угол и время задержки самовоспламенения топлива
$\varphi_{opn}^{in}, \varphi_{cl}^{in}$	Углы открытия и закрытия впускного клапана*
$\varphi_{opn}^{exh}, \varphi_{cl}^{exh}$	Углы открытия и закрытия выпускного клапана*
$\varphi_{opn}^{in} + \varphi_{cl}^{exh}$	Угол одновременного открытия впускных и выпускных клапанов*

* Указанные параметры определяются при наличии соответствующих механизмов на двигателе.

Квадратичная интерполяция по трем заданным точкам x_{-1}, x_0, x_1 , которые выбирались из условия максимальной близости ординаты искомой точки x к ординате x_{00} для середины диапазона $[x_0, x_N]$ и к ординатам x_0 и x_N по краям. Для удобства расчетов ординат был введен параметр $p = (x - x_0) / h$

$$y(x_0 + ph) = \frac{p(p-1)}{2} y_{-1} + (1-p^2) y_0 + \frac{p(p+1)}{2} y_{+1}.$$

В некоторых случаях использовалась интерполяция по пяти точкам по формуле

$$y(x_0 + ph) = \frac{p(p-2)(p^2-1)}{24} y_{-2} - \frac{p(p-1)(p^2-4)}{6} y_{-1} + \frac{(p^2-1)(p^2-4)}{4} y_0 - \\ - \frac{p(p+1)(p^2-4)}{6} y_{+1} + \frac{p(p+2)(p^2-1)}{24} y_{+2}.$$

После получения интерполяционного полинома на каждом из диапазонов $[x_{-1}, x_0, x_1]$ или $[x_{-2}, x_{-1}, x_0, x_1, x_2]$ для определения точек перегиба, экстремумов и для построения условных уравнений касательных производилось численное дифференцирование. Для увеличения количества точек, по которым оценивалась вторая производная исходного процесса, применялись интерполяционные полиномы построенные по пяти точкам. Во всех случаях в середине диапазона исходных точек полином строился по принципу близости искомой точки к средней, из числа выбранных для построения полинома. По краям диапазона интерполяционные узлы выбирались фиксировано от начала и от конца диапазона, соответственно.

Для определения 1-й производной исходного процесса по 3-м точкам использовалась формула

$$y'(x) = \frac{1}{h} [(p-0.5)y_{-1} - 2py_0 + (p+0.5)y_{+1}].$$

Для определения 1-й и 2-й производных по 5-ти точкам использовались формулы:

$$y'(x) = \frac{1}{h} \left[\frac{2p^3 - 3p^2 - p + 1}{12} y_{-2} - \frac{4p^3 - 3p^2 - 8p + 4}{6} y_{-1} + \frac{2p^3 - 5p}{2} y_0 - \right. \\ \left. - \frac{4p^3 - 3p^2 - 8p - 4}{6} y_{+1} + \frac{2p^3 + 3p^2 - p - 1}{12} y_{+2} \right];$$

$$y''(x) = \frac{1}{h^2} \left[\frac{6p^2 - 6p + 1}{12} y_{-2} - \frac{6p^2 - 3p - 4}{3} y_{-1} + \frac{6p^2 - 5}{2} y_0 - \right. \\ \left. - \frac{6p^2 + 3p - 4}{3} y_{+1} + \frac{6p^2 - 6p - 1}{12} y_{+2} \right]. \quad (2)$$

При определении максимальной скорости нарастания давления при сго-

рании топлива в точке перегиба (p_C') строилась касательная к математической модели, аппроксимирующей участок от p_C' до p_Z . В этом случае тангенс угла наклона касательной в точке p_C' определялся как первая производная к модели в точке с ординатой $\varphi_{p_C'}$. В качестве моделей выбирались алгебраические полиномы 2-го или 4-го порядков, в зависимости от качества моделирования, то есть функции гладкие и имеющие непрерывную первую производную на всей области определения.

При анализе развернутых индикаторных диаграмм дизеля использовался метод приращенных объемов для расчета среднего индикаторного давления p_i и вышеописанные методы интерполяции и численного дифференцирования.

Определение среднего индикаторного давления

Среднее индикаторное давление в рабочем цилиндре определим методом приращения объемов по кривой $p = f(\varphi)$.

По определению данному в [1], среднее индикаторное давление представляет собой удельную работу цикла, то есть работу цикла, отнесенную к единице рабочего объема цилиндра $p_i = L / V_S$. Разница работы, полученной на такте расширения и затраченной на такте сжатия, и будет полезной работой цикла дизеля. Разобьем индикаторную диаграмму $p = f(\varphi)$ на множество элементарных участков Δl . В этом случае работа цикла будет равна сумме работ на каждом участке $L = \sum \Delta l$, а среднее индикаторное давление будет равно

$$p_i = \frac{\sum \Delta l}{V_S}.$$

Рабочий объем цилиндра вычисляем по формуле $V_S = \frac{\pi D^2}{4} S$, где S - ход поршня, м. Работа произведенная на каждом элементарном участке равна (см. рис.2)

$$\Delta l_j = p_k \Delta V_{Sk},$$

где $p_k = (p_j + p_{j+1}) / 2$ - среднее давление участка, если рассматривать его границы - j и $j+1$;

$V_{Sk} = V_{j+1} - V_j$ - приращение объема на участке от j до $j+1$.

Таким образом, можно записать выражение для среднего индикаторного давления рабочего цикла в виде

$$p_i = \frac{1}{V_S} \sum_{j=1}^m \frac{p_{j+1} + p_j}{2} (V_{j+1} - V_j), \quad (3)$$

где m - количество участков разбиения индикаторной диаграммы.

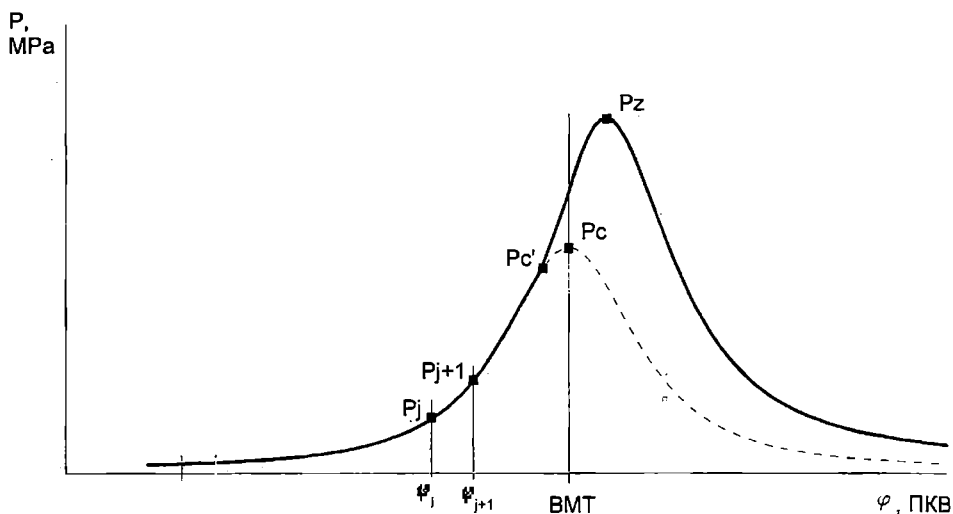


Рис.2. К вопросу определения среднего индикаторного давления методом приращения объемов

Для каждого угла поворота φ коленчатого вала текущий объем цилиндра записывается в виде выражения

$$V_{ц} = V_c + 0,5V_s \left[1 + \frac{1}{\lambda_{ш}} - \cos \varphi - \frac{1}{\lambda_{ш}} \sqrt{1 - (\lambda_{ш} \sin \varphi)^2} \right],$$

где V_c - объем камеры сжатия,

$\lambda_{ш} = S / 2L_{ш}$ - отношение радиуса мотыля коленчатого вала к длине шатуна между осями его подшипников.

Объем камеры сжатия можно определить, зная фактическую степень сжатия ε по формуле $V_c = V_s / (\varepsilon - 1)$.

Таким образом, для каждого элементарного участка вычисляется приращение объема цилиндра и среднее давление в цилиндре. Затем по формуле (3) вычисляется сумма элементарных работ, которая после деления на рабочий объем цилиндра даст среднее индикаторное давление цикла дизеля.

Индикаторная мощность дизеля рассчитывается по формуле

$$N_i = c_1 D^2 S n p_i,$$

где n - частота вращения коленчатого вала (КВ) двигателя, мин^{-1} ;

i - число цилиндров;

c_1 - коэффициент, учитывающий тактность дизеля и размерности входных величин для приведения результата к системе СИ ($c_1 = 6,55$ для 4-х тактных дизелей; $c_1 = 13,1$ для 2-х тактных дизелей).

Определение частоты вращения коленчатого вала двигателя

Как было указано ранее, индикаторные диаграммы записаны в память компьютера в виде временных реализаций через дискретные временные интервалы Δx . Предположим, что мы ограничены объемом буфера данных и одна запись может иметь не более $j=M$ точек, которые описывают N рабочих циклов (рис.3). Зададимся минимально необходимым количеством максимумов рабочих циклов P_{max} , необходимым для оценки основных параметров рабочего процесса $N_{min} = 3$. В этом случае, по крайней мере, один рабочий цикл (от НМТ до НМТ) и 2 участка сжатия будут представлены в записи полностью.

Известно, что давление на участках сжатия от p_a до p'_c подчиняется закону $p = p_a \varepsilon^{n1}$, то есть является гладкой монотонной возрастающей функцией, поскольку до p'_c еще нет сгорания топлива [1]. Таким образом, независимо от качества протекания рабочего процесса и цикловой неравномерности, эти участки для нескольких соседних циклов будут почти одинаковыми для одного цилиндра на установившемся режиме работы двигателя.

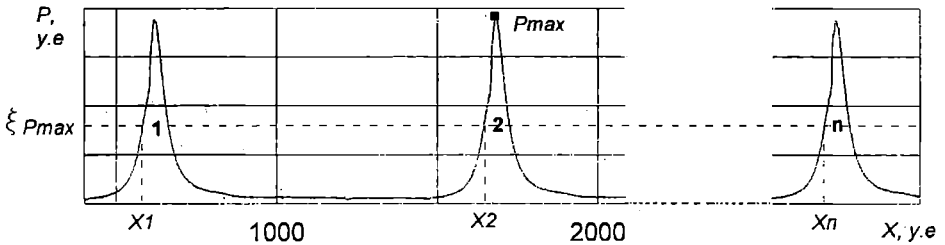


Рис 3. К вопросу определения частоты вращения двигателя

Этот факт, здесь и впоследствии, будет много раз использоваться для того, чтобы определить точку отсчета на диаграмме, записанной в виде временного ряда. Зададим уровень $h = 0,5 P_c$, который обеспечивает надежное прохождение через середину участка сжатия. Определим значение множителя ξ , при котором ξP_{max} будет равно давлению на середине участка сжатия

$$\xi = 1 / (2\lambda).$$

Так, для двигателей с низкой степенью повышения давления (1,1-1,2), например, VASA R32, Low Nox, величину ξ нужно выбирать из диапазона 0,4-0,46, а для двигателей с высоким $\lambda = 2-2,5$, например, PIELSTICK $\xi = 0,25-0,2$. На каждой диаграмме на участке сжатия выбирается x_i так, что $f(x_i) = P(x_i) = \xi p_{MAX}, i \geq 2$. Тогда время одного рабочего цикла в секундах можно подсчитать по формуле $t_{P.Ц} = (x_{i+1} - x_i) / v_{АЦП}$. Если в реализации присутствуют n циклов, как показано на рис.3, то время рабочего цикла $t_{P.Ц} = (x_n - x_0) / (n - 1)v_{АЦП}$. Таким образом, частота вращения двигателя в минуту равна

$$n = \frac{60}{t_{P.Ц}}, \text{ об/мин.}$$

Необходимо отметить, что данная методика определения частоты вращения вала двигателя по периоду между рабочими циклами не требует установки фазового датчика на маховике.

Определение давления и угла начала воспламенения топлива

Рассмотрим процесс начала самовоспламенения топлива относительно диаграммы сжатия-расширения (рис.4). На рисунке показаны диаграммы рабочих процессов (кривые 1,2,3) при разных углах опережения впрыска топлива и диаграмма сжатия-расширения (кривая 0). В момент самовоспламенения происходит "отрыв" кривой сгорания от диаграммы сжатия (точки $P'_{C_1}, P'_{C_2}, P'_{C_3}$) и в большинстве случаев, когда измерение давления в цилиндре происходит без волновых искажений и дросселирующего эффекта трубки индикаторного крана, в этот момент на диаграмме давления появляется характерный перегиб, свидетельствующий о резком нарастании давления при сгорании.

Характер изменения первой производной $dp/d\varphi$ (кривая 2 для рабочей диаграммы 2) показывает, что вблизи точек $P'_{C_1}, P'_{C_2}, P'_{C_3}$ она имеет самый крутой участок. Вторые производные $d^2p/d\varphi^2$ (кривые 1,2,3) имеют максимумы в ординатах этих точек. Можно записать условие определения угла момента начала самовоспламенения топлива

$$\left(\frac{d^2 p}{d\varphi^2} \right)_{MAX} = \left(\frac{d^2 p}{d\varphi_{P'_{C_i}}^2} \right)$$

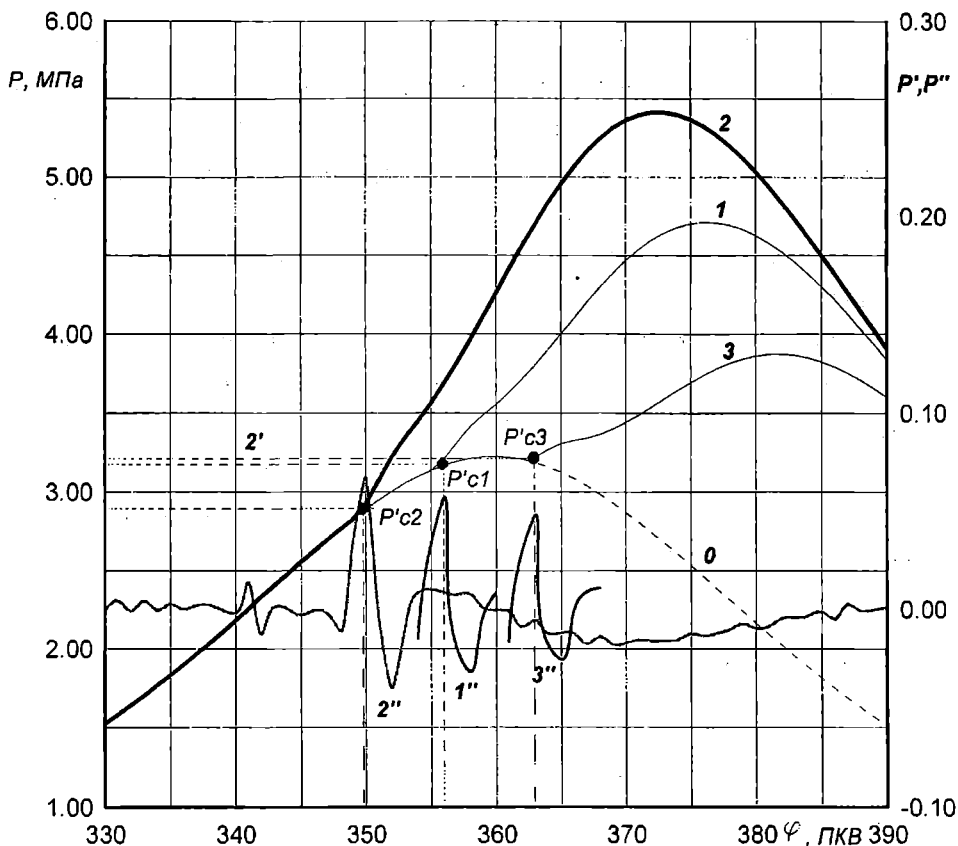


Рис. 4. К вопросу определения угла и давления начала самовоспламенения топлива

Дизель ЧН 25/34. Рабочие параметры: $n=450$ об/мин, $\varepsilon=10$, $p_a=0,13$ МПа.

Кривые:

- 0 - сжатие-расширение без сгорания;
- 1,2,3 - $p(\varphi)$, диаграммы рабочего процесса при различных углах опережения впрыска топлива;
- 2 - график $dp/d\varphi$ для рабочего процесса 2;
- 1,2,3 - графики вторых производных $d^2p/d\varphi^2$ соответствующих рабочих процессов.

Вторая производная $d^2p/d\varphi^2$ рассчитывается для участка от $\varphi = \varphi_{\xi P_{MAX}}$ - середина участка сжатия, до $\varphi = \varphi_{P_{MAX}}$ с заданным шагом $\Delta\varphi$ по формуле численного дифференцирования (2).

Глобальный максимум второй производной $p''(\varphi)_{MAX}$ определяется циклическим перебором функции с шагом $\Delta\varphi$. Использование третьей произ-

водной для отыскания максимума второй нецелесообразно, поскольку на выбранном диапазоне присутствует несколько локальных максимумов и возникает задача селекции корней уравнения $p'''(\varphi) = 0$, что увеличивает расчетное время по сравнению с анализом $p''(\varphi)$ в цикле с шагом $\Delta\varphi$, который обеспечивает заданную точность определения $\varphi p'_c$ и $p(\varphi p'_c)$.

Определение максимального давления сгорания и соответствующего угла ПКВ

Задача определения p_z и φp_z может быть решена двумя способами, дающими принципиально одинаковый результат. Расчетное время способа 1 несколько меньше, однако он не учитывает возможные искажения индикаторной диаграммы и менее точен.

Способ 1. Искомые величины определяются как максимальное давление цикла и соответствующий угол ПКВ. Для большинства эксплуатационных режимов $\lambda > 1$ и, следовательно, $p_z > p_c$. Таким образом, можно записать

$$p_z = p_{MAX}, \varphi p_z = \varphi p_{MAX}.$$

Поиск максимального давления производится с шагом $\Delta\varphi$, обеспечивающим заданную точность, для углов на участке диаграммы BASE (см. рис. 5). Этот способ может быть использован для МОД и других типов дизелей, для которых типично плавное без резких перепадов и детонации изменение давления вблизи ВМТ. Для многих СОД, в процессе исследования были зафиксированы резкие перепады давления в районе ВМТ, поэтому такой способ может дать значительную погрешность.

Способ 2. Для более точной и объективной оценки p_z и φp_z применялся второй способ, основанный на построении и последующем анализе аппроксимирующего полинома (математической модели “верхушки” диаграммы). На рис. 5 показана индикаторная диаграмма, записанная в виде отдельных равноудаленных узлов, и аппроксимирующий полином на участке $\varphi_i = BASE$, для которых справедливо $p(\varphi_i) > \zeta P \max$. Множитель ζ выбирается таким, чтобы линия $\zeta P \max$ проходила посередине между p'_c и $P \max$:

$$\zeta = \frac{1 + \lambda}{2\lambda}.$$

Предположим, что этому условию удовлетворяют $m+1$ точек записанной диаграммы. Коэффициенты аппроксимирующего полинома определяют-

ся исходя из принципа МНК для случая с нечетным количеством равноудаленных узлов расположенных симметрично относительно некоторого выбранного узла j_0 [6]. Для всех рассмотренных в процессе исследования индикаторных диаграмм средняя квадратичная погрешность модели была меньше 3% лишь для полиномов 4-й степени. Аппроксимирующий “верхушку” полином имеет вид

$$P(\varphi) = \sum_{k=0}^K \varphi^k a_k, \quad \varphi = -\frac{m}{2}, \dots, \frac{m}{2}. \quad (4)$$

Коэффициенты a_k для случая $K=4$ вычисляются в обратном порядке (сначала a_4 , затем a_3 и т.д.):

$$a_4 = \frac{[N\Sigma\varphi^4 p - \Sigma\varphi^4 \Sigma p][(\Sigma\varphi^2)^2 - N\Sigma\varphi^4] + [\Sigma\varphi^2 \Sigma p - N\Sigma\varphi^2 p][\Sigma\varphi^4 \Sigma\varphi^2 - N\Sigma\varphi^6]}{(\Sigma\varphi^2 \Sigma\varphi^4 - N\Sigma\varphi^6)^2 - [(\Sigma\varphi^4)^2 - N\Sigma\varphi^8][(\Sigma\varphi^2)^2 - N\Sigma\varphi^4]},$$

$$a_3 = \frac{\Sigma\varphi^2 \Sigma\varphi^3 p - \Sigma\varphi^4 \Sigma\varphi p}{\Sigma\varphi^2 \Sigma\varphi^6 - (\Sigma\varphi^4)^2};$$

$$a_2 = \frac{\Sigma\varphi^2 \Sigma p - N\Sigma\varphi^2 p - a_4(\Sigma\varphi^2 \Sigma\varphi^4 - N\Sigma\varphi^6)}{(\Sigma\varphi^2)^2 - N\Sigma\varphi^4};$$

$$a_1 = \frac{\Sigma\varphi p(\Sigma\varphi^2 \Sigma\varphi^6 - (\Sigma\varphi^4)^2) - (\Sigma\varphi^4 \Sigma\varphi^2 \Sigma\varphi^3 p - \Sigma\varphi^4 \Sigma\varphi p)}{\Sigma\varphi^2(\Sigma\varphi^2 \Sigma\varphi^6 - (\Sigma\varphi^4)^2)};$$

$$a_0 = \frac{\Sigma p - a_2 \Sigma\varphi^2 - a_4 \Sigma\varphi^4}{m},$$

где $\Sigma = \sum_{j=-m/2+1/2}^{m/2-1/2}$ - суммирование в диапазоне изменения j ;

$p = p(\varphi)$ - давление в соответствующих узлах.

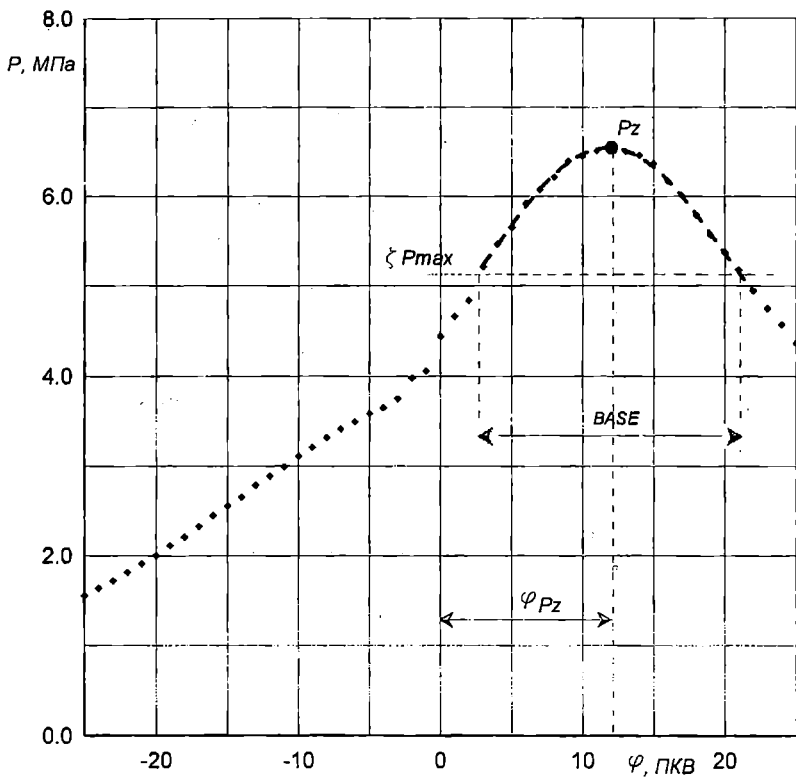


Рис.5. Определение максимального давления сгорания и соответствующего угла ПКВ

В источнике [6] приводятся также формулы для расчета сумм различных степеней φ , сокращенные выражения для которых записаны с учетом симметричных относительно "0" ($j_0 = 0$) порядковых номеров узлов диаграммы, назначенных в диапазоне *BASE*:

$$\Sigma\varphi^2 = \frac{m(m^2 - 1)}{12}; \quad \Sigma\varphi^4 = \frac{m(m^2 - 1)(2m^2 - 7)}{240};$$

$$\Sigma\varphi^6 = \frac{m(m^2 - 1)(3m^4 - 18m^2 + 31)}{1344}; \quad (5)$$

$$\Sigma\varphi^8 = \frac{m(m^2 - 1)(5m^6 - 55m^4 + 239m^2 - 381)}{11520}.$$

Использование формул (5) для расчета сумм различных степеней φ при-

близительно на 2 порядка сокращает расчетное время по сравнению с обычной процедурой возведения в степень и суммирования в цикле.

Вычисление коэффициентов полинома происходит в 2 этапа:

1) вычисление моментов $\Sigma \varphi^k p$, где $k = 0, 1, 2, 3, 4$;

2) вычисление коэффициентов a_4, a_3, a_2, a_1, a_0 по приведенным выше формулам.

После определения коэффициентов полинома 4-й степени, с заданной точностью (<3%) моделирующего “верхушку” диаграммы можно определить угол φp_z , как действительный корень уравнения

$$4a_4\varphi^3 + 3a_3\varphi^2 + 3a_2\varphi + a_1 = 0$$

на интервале $\varphi \in BASE$. После определения φp_z определяется и само значение p_z путем подстановки φp_z в уравнение полинома (4).

Способ 2 является значительно более сложной альтернативой *Способу 1* при определении достаточно простых и очевидных параметров p_z и φp_z . Однако, как показывают экспериментальные исследования, при $m > 70$ и оптимально составленном алгоритме *Способа 2*, его расчетное время не более чем в 2 раза превышает расчетное время *Способа 1*, при этом точность и объективность оценки p_z и φp_z значительно выше.

Определение максимальной v_m и средней \bar{v}_m скорости нарастания давления газов при сгорании топлива

Известно, что максимальная скорость нарастания давления приходится на момент начала воспламенения топлива $\varphi p'_c$ [1]. Как было отмечено ранее, в этот момент на индикаторной диаграмме обычно появляется характерный перегиб, свидетельствующий о начале роста давления относительно кривой сжатия. Далее, от $\varphi p'_c$ до φp_z скорость нарастания давления уменьшается. В точке φp_z она равна нулю и далее до НМТ отрицательна. Параметр v_m оценивается как тангенс угла наклона касательной, проведенной в точке $\varphi p'_c$ к аппроксимирующему полиному 2-й степени, обеспечивающему заданную погрешность приближения узлов индикаторной диаграммы на участке от $\varphi p'_c$ до φp_z (см. рис.6). Как и в предыдущей задаче, для случая при равноотстоящих узлах и выбранной центральной точке диапазона $BASE = \varphi p_z - \varphi p'_c$ применялись формулы для определения коэффициентов полинома (5) 2-й степени $K=2$ методом наименьших квадратов [6]:

$$a_0 = \frac{\Sigma \varphi^2 \Sigma \varphi^2 p}{(\Sigma \varphi^2)^2 - N \Sigma \varphi^4}; a_1 = \frac{\Sigma \varphi p}{\Sigma \varphi^2}; a_2 = \frac{\Sigma \varphi^2 \Sigma p - N \Sigma \varphi^2 p}{(\Sigma \varphi^2)^2 - N \Sigma \varphi^4},$$

где $\Sigma = \sum_{j=-m/2+1/2}^{m/2-1/2}$ - суммирование в диапазоне изменения j ;
 $p = p(\varphi)$ - давление в соответствующих узлах.

После того как коэффициенты определены, можно записать выражение для определения максимальной скорости нарастания давления при сгорании

$$v_m = tg \theta = [P(\varphi p'_c)]'_\varphi = 2a_2 \varphi p'_c + a_1.$$

Необходимо отметить, что погрешности индицирования, волновые и другие эффекты возникающие в измерительной аппаратуре и канале от камеры сгорания до датчика могут существенно искажать и завышать v_m . Поэтому на практике для объективной оценки механической жесткости чаще пользуются средней скоростью нарастания давления от $\varphi p'_c$ до φp_z

$$\bar{v}_m = \frac{\Delta p}{\Delta \varphi},$$

где $\Delta p = p_z - p'_c$; $\Delta \varphi = \varphi p_z - \varphi p'_c$.

Поскольку точность определения основных точек давления весьма высока, оценка средней скорости нарастания давления всегда производится с достаточно высокой точностью в отличие от максимальной.

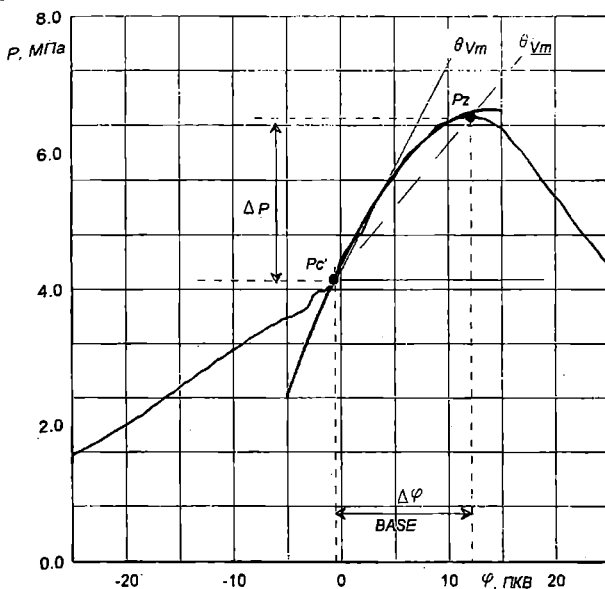


Рис. 6. К вопросу определения максимальной и средней скорости нарастания давления газов при сгорании топлива в цилиндре дизеля

Определение степени повышения давления при сгорании

Отношение максимального давления сгорания к давлению в конце сжатия в цилиндре называется степенью повышения давления λ . Как и скорость нарастания давления, эта величина характеризует “жесткость” рабочего цикла и механическую нагрузку на подшипники

$$\lambda = \frac{p_z}{p_c}$$

С уменьшением угла опережения уменьшается p_z и λ . Точность определения λ весьма высока, поскольку по индикаторной диаграмме достаточно точно определяются основные величины давлений.

Определение величины давления на линии расширения (36° ПКВ за ВМТ)

После расчета ВМТ и синхронизации диаграммы путем решения задачи интерполяции с помощью выражений (3) или (4) возможно определение давления в любых точках диаграммы как значение соответствующего интерполяционного полинома. Давление $p_{EXP} = p_{36}$ выбрано в качестве одного из диагностических параметров, определяющих качество сгорания топлива, некоторыми фирмами разрабатывающими диагностические системы. Например, этот параметр используется во всех системах фирмы Autronica AS [2]. Некоторые фирмы акцентируют внимание также на давлении за 12° ПКВ за ВМТ, что должно характеризовать наибольшее давление рабочего цикла. В любом случае определение давлений в любых точках диаграммы - задача решенная на стадии построения интерполяционного многочлена.

На рис.7 показаны две диаграммы рабочих циклов дизеля RND76. При одинаковом давлении в конце сжатия и различных углах опережения подачи топлива давление $p_{EXP} = p_{36}$ для кривой 2 больше чем для кривой 1. Сравнительный анализ показывает догорание на линии расширения для рабочего процесса 2.

P , МПа

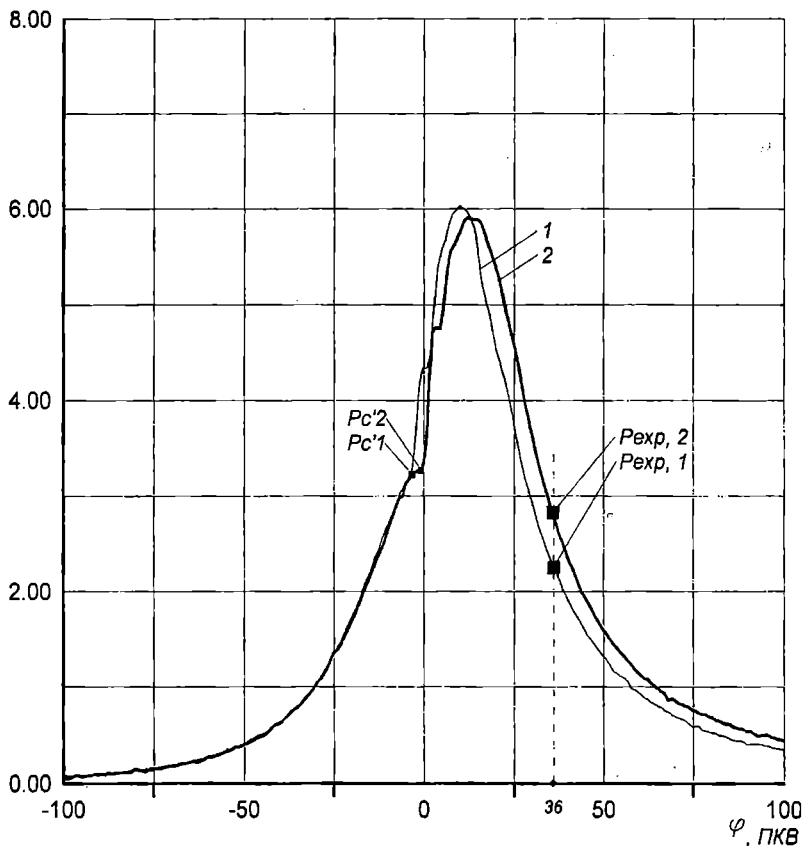


Рис.7. Определение давления на линии расширения
(36° ПКВ за ВМТ)

ЛИТЕРАТУРА

1. Ваншейдт В.А. Судовые двигатели внутреннего сгорания. Л.: Судостроение, 1977.
2. Фомин Ю.Я., Ивановский В.Г., Варбанец Р.А., Савиных А.А. Прибор диагностики рабочего процесса дизеля // Тезисы доклада семинара "Применение вычислительной техники и математическое моделирование в научных исследованиях". - Одесса: Политехнический университет, 1994.-С.149-152.
3. Варбанец Р.А. Обнаружение дефектов ТА дизелей на ранней стадии // Судостроение.-1997.- №7.- С.48-50.

4. *Фомин Ю.Я., Никонов Г.В., Ивановский В.Г. Топливная аппаратура дизелей: Справочник. -М.: Машиностроение, 1982. - 168 с.*
5. *Каталог индустриальных, бортовых и встроенных систем управления контроля и сбора данных / ПРОСОФТ №1. -М.:Наука, 1997. -248 с.*
6. *Отнес Р., Эноксон Л. Прикладной анализ временных рядов. Основные методы. -М.:Мир, 1982. -482 с.*

MATHEMATICS MODEL OF FREQUENCY-CONTROLLED AC DRIVES OF HOISTING-TRANSPORT MECHANISMS BASED ON VSI WITH PWM

S.N.Radimov , Hicham Boukili

***Abstract:** The problem is to create the model having clearness and giving the most close to the real physical processes representation of speed drive arises when researching the system – «Frequency converter - asynchronous motor (FC-AM)» based on voltage source inverter (VSI). The representation of FC and AM in natural three phase axes matches with the requirements of clearness, of convenience in observing and registration of processes in speed drives with pulse width modulation (PWM). Possibilities of model are illustrated on an example of the analysis of processes, which take place in the drive. It is known that operation of FC is characterised by cyclical sequence of six main combinations of transistor keys and they are parted by an interval $\pi/3$. Between main sequence of commutation internal commutations take place. Combinations of keys, conductive a current of the FC and sequence of their alternation on an interval $\pi/3$ between two main commutations are shown.*

Description of asynchronous motor (AM) as a generalised machine by recording of equations in orthogonal co-ordinate system /1/ is used as a rule practically in all research works on AM with mathematical simulation methods despite of the fact that real processes in the motors do not match with those in mathematical model.

The problem is to create the model having clearness and giving the most close to the real physical processes representation of speed drive arises when researching the system – «Frequency converter - asynchronous motor (FC-AM)». The frequency converter with voltage source inverter (VSI), output voltage of which is formed according to the principal of pulse width modulation (PWM) is used in speed drive. Power circuits of speed drive «FC-AM» is shown on the fig. 1. The state of controlled and non-controlled keys of VSI is determined either by control signals or phase voltages and currents of stator winding at each step of computation. The

task of recording of dynamics equation with taking into consideration the commutation process in VSI, the pulsing nature of output voltage, mutual influence of 3 phase FC and AM while using its two phase model seems to be very difficult, complicated and unnecessary. Definitely that the representation of FC and AM in natural three phase axes matches with the requirements of clearness, of convenience in observing and registration of processes in speed drives with pulse width modulation.

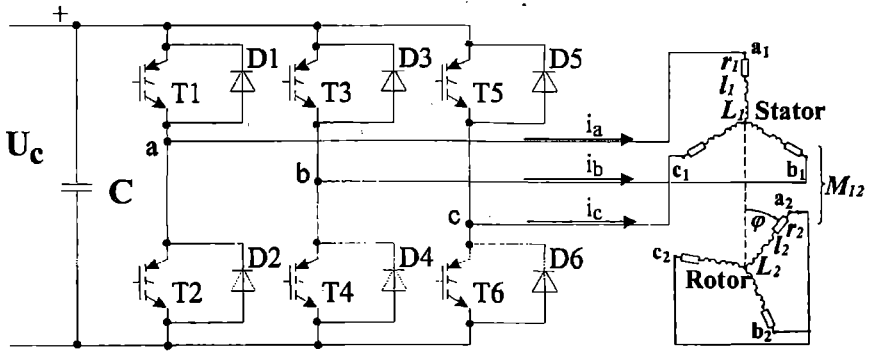


Fig. 1. Power circuits of speed drive «FC-AM»

For each winding of three phase AM the equations of electrical balance based on the second law of Kirhgoof are to be recorded. As a result there are $2/3$:

$$\left. \begin{aligned} \dot{\psi} &= U - R \cdot I \\ \psi &= L \cdot I \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

where U – vector of phase windings voltages which are considered to be external action from VSI; R – matrix of windings active resistances; ψ , I – vectors (matrix columns) respectively of flux-linkages and currents of stator and rotor of AM; L – matrix of self and mutual inductance, elements of which depend on position of stator and rotor.

The system of differential equations (1) describing the processes in three phase asynchronous drive has in its structure linear-depending equations, that is this system is degenerative; determinant of the system is equal to zero; that is why the resolving of the equation becomes impossible. For elimination of linear function of system (1), describing VSI and AM (there is no neutral wire), it is possible to record only two equations for two phases – for the line or phase voltages; the third equation in this case becomes algebraic. As soon as the VSI provides line voltages for the AM the most convenient for the following analyses and synthesis there is the system of equations, recorded using the combined vectors of line stator voltages $\bar{U}_L(t)$, stator

currents $\bar{I}_L(t)$, flux-linkages of rotor $\bar{\psi}_L(t)$, electromagnetic torque T and rotor speed ω .

In a three-phase co-ordinate system the differential equations FC-AM, recorded in natural axes relatively to the first derivatives of flux-linkages of stator and rotor, look like:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\psi_{ab_1}}{dt} &= U_{ab_1} - r_1 \cdot i_{ab_1} \\ \frac{d\psi_{bc_1}}{dt} &= U_{bc_1} - r_1 \cdot i_{bc_1} \\ \frac{d\psi_{ca_1}}{dt} &= -\frac{d\psi_{ab_1}}{dt} - \frac{d\psi_{bc_1}}{dt} \\ \frac{d\psi_{ab_2}}{dt} &= 0 - r_{21} \cdot i_{ab_2} \\ \frac{d\psi_{bc_2}}{dt} &= 0 - r_{21} \cdot i_{bc_2} \\ \frac{d\psi_{ca_2}}{dt} &= -\frac{d\psi_{ab_2}}{dt} - \frac{d\psi_{bc_2}}{dt} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Phase flux-linkages of stator and rotor are defined with the help of algebraic proportion:

$$\left. \begin{aligned} \Psi_{a_1} &= (\Psi_{ab_1} - \Psi_{ca_1})/3 \\ \Psi_{b_1} &= (\Psi_{bc_1} - \Psi_{ab_1})/3 \\ \Psi_{c_1} &= (\Psi_{ca_1} - \Psi_{bc_1})/3 \\ \Psi_{a_2} &= (\Psi_{ab_2} - \Psi_{ca_2})/3 \\ \Psi_{b_2} &= (\Psi_{bc_2} - \Psi_{ab_2})/3 \\ \Psi_{c_2} &= (\Psi_{ca_2} - \Psi_{bc_2})/3 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

As it was pointed out for the computation of right parts of equation it is necessary to know the phase currents. In the algorithm of computation of the currents it is necessary to take into account that at numerical integration of differential equations the only flux-linkages that play the role as variable are known. It is necessary to compute the currents of all phases of stator and rotor taking into accounts those flux-linkages.

The equations of flux-linkages in vector-matrix recording

$$\bar{\Psi} = \bar{A} \cdot \bar{I}, \quad (4)$$

then

$$\begin{pmatrix} \Psi_{ab_1} \\ \Psi_{bc_1} \\ \Psi_{ab_2} \\ \Psi_{bc_2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} L_1 - M_1 & 0 & M_{a_1 a_2} & -M_{a_1 c_2} & M_{a_1 b_2} & -M_{a_1 c_2} \\ 0 & L_1 - M_1 & M_{a_1 c_2} & -M_{a_1 b_2} & M_{a_1 a_2} & -M_{a_1 b_2} \\ M_{a_1 a_2} & -M_{a_1 b_2} & M_{a_1 c_2} & -M_{a_1 b_2} & L_{21} - M_2 & 0 \\ M_{a_1 b_2} & -M_{a_1 c_2} & M_{a_1 a_2} & -M_{a_1 c_2} & 0 & L_{21} - M_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_{ab_1} \\ i_{bc_1} \\ i_{ab_2} \\ i_{bc_2} \end{pmatrix},$$

$$\text{where } \bar{\Psi} = \begin{pmatrix} \Psi_{ab_1} & \Psi_{bc_1} & \Psi_{ab_2} & \Psi_{bc_2} \end{pmatrix}^T;$$

$$\bar{I} = \begin{pmatrix} i_{ab_1} & i_{bc_1} & i_{ab_2} & i_{bc_2} \end{pmatrix}^T;$$

$$\bar{A} = \begin{pmatrix} L_1 - M_1 & 0 & M_{a_1 a_2} & -M_{a_1 c_2} & M_{a_1 b_2} & -M_{a_1 c_2} \\ 0 & L_1 - M_1 & M_{a_1 c_2} & -M_{a_1 b_2} & M_{a_1 a_2} & -M_{a_1 b_2} \\ M_{a_1 a_2} & -M_{a_1 b_2} & M_{a_1 c_2} & -M_{a_1 b_2} & L_{21} - M_2 & 0 \\ M_{a_1 b_2} & -M_{a_1 c_2} & M_{a_1 a_2} & -M_{a_1 c_2} & 0 & L_{21} - M_2 \end{pmatrix};$$

$L_1 = 2(x_1 + x_\mu)/3\omega_0$ - inductance of stator; $L_{21} = 2(x_{21} + x_\mu)/3\omega_0$ - inductance of rotor relative to the stator; $M_{12} = 2x_\mu/3\omega_0$ - mutual inductance of stator and rotor; $M_1 = -L_1/2$ - magnetic linkage of one winding of the stator with two others; $M_2 = -L_{21}/2$ - magnetic linkage of one winding of the rotor with two others.

Mutual inductance of stator and rotor in co-ordinate axes ABC are defined as

the function of mutual angular position of windings:

$$\left. \begin{aligned} M_{a_1 a_2} = M_{a_2 a_1} = M_{b_1 b_2} = M_{b_2 b_1} = M_{c_2 c_1} = M_{c_1 c_2} = M_{12} \cdot \cos \varphi \\ M_{b_2 a_1} = M_{a_1 b_2} = M_{b_1 c_2} = M_{a_2 c_1} = M_{c_1 a_2} = M_{c_2 b_1} = M_{12} \cdot \cos(\varphi + 2\pi/3) \\ M_{c_2 a_1} = M_{a_1 c_2} = M_{a_2 b_1} = M_{b_1 a_2} = M_{b_2 c_1} = M_{c_2 b_2} = M_{12} \cdot \cos(\varphi - 2\pi/3) \end{aligned} \right\}$$

The resolving of the system of differential equations makes possible to define the line currents of stator and rotor i_{ab_1} , i_{bc_1} , i_{ab_2} и i_{bc_2}

$$\left. \begin{aligned} i_{ca_1} &= -i_{ab_1} - i_{bc_1} \\ i_{ca_2} &= -i_{ab_2} - i_{bc_2} \end{aligned} \right\}. \quad (5)$$

The phase current of stator and rotor are

$$\left. \begin{aligned} i_{a_1} &= (i_{ab_1} - i_{ca_1})/3 \\ i_{b_1} &= (i_{bc_1} - i_{ab_1})/3 \\ i_{c_1} &= (i_{ca_1} - i_{bc_1})/3 \\ i_{a_2} &= (i_{ab_2} - i_{ca_2})/3 \\ i_{b_2} &= (i_{bc_2} - i_{ab_2})/3 \\ i_{c_2} &= (i_{ca_2} - i_{bc_2})/3 \end{aligned} \right\}. \quad (6)$$

Electromagnetic torque of the motor is calculated according to the formula

$$T = \frac{2 \cdot p}{3 \cdot \sqrt{3}} \cdot \left[(\Psi_{c_1} - \Psi_{b_1}) \cdot i_{a_1} + (\Psi_{a_1} - \Psi_{c_1}) \cdot i_{b_1} + (\Psi_{b_1} - \Psi_{a_1}) \cdot i_{c_1} \right]. \quad (7)$$

Angular speed of the drive is to be found by resolving the following equation of the motion

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{T - T_L}{J_{dr}}, \quad (8)$$

where T_L – loading torque; J_{dr} – total drive's inertia.

According to equations (2) - (8) the numeric model of the drive of the system FC-AM being the foundation of the software MCF-HICHAM (modulation converter frequency) is built up. The model makes it possible to the stable, transient and emergency regimes of drive operation, to research different principles and laws of regulation of output voltage of VSI (amplitude, width pulse regulation, width pulse modulation – PWM), to monitor and register currents and voltages in different elements of the drive, to define heat losses in switches and other elements of FC, to eliminate the saturation of the motor.

Possibilities of model we shall illustrate on an example of the analysis of processes which take place in the drive working with frequency of FC output voltage $f_{FC} = 30$ Hz at frequency of PWM $f_{PWM} = 1200$ Hz. The continuous lines in a fig.2 (a, b, c) show currents and broken lines - voltages of phases a, b and c of AC motor counted through model.

The operation of FC is characterized by cyclical sequence of six main combinations of transistor keys and they are parted by an interval $\pi/3$. Between main sequence of commutation internal commutations take place. They are formed by combinations of keys: 3 transistors (T), 2T and diode (D), T and 2 D, 3D, 2T, T and D, 2D /3/. Combination of keys, conductive a current of the FC and sequence of their alternation on an interval $\pi/3$ between two main commutations are shown in table 1. Levels of phase voltages (in relative values from base voltage of link of a direct current $U_{\mathcal{D}}$), directions of phase currents and keys there are indicated, through which one they flow past. For example in a fig. 3 (a, b, c) the equivalent circuits confirming to tacts 1(a), 2(b) and 4(c) are shown.

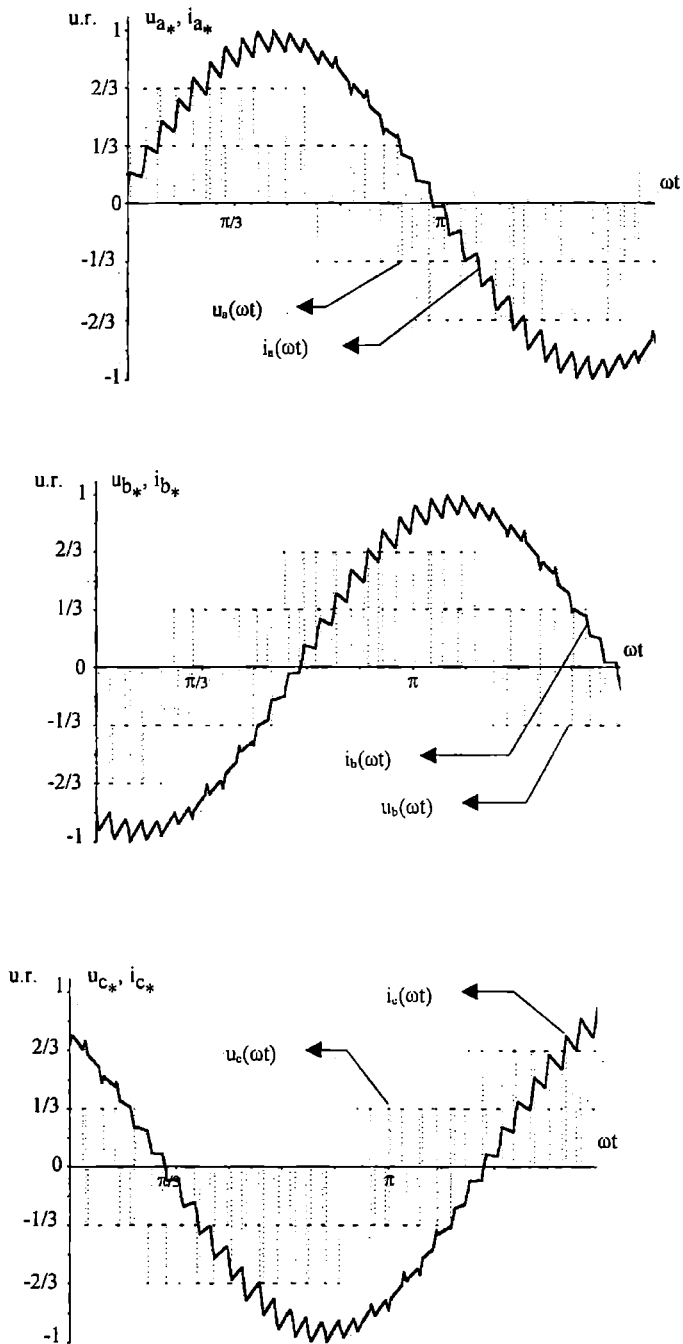


Fig. 2. Actuals phases voltages and currents in drive «FC-AM»;
 $f_{FC} = 30 \text{ Hz}$, $f_{PWM} = 1200 \text{ Hz}$

Table 1. Internal commutations which take place between main ones
by an interval $\pi/3$

№	Combina- tion of keys	u_{a*}	u_{b*}	u_{c*}	i_a	i_b	i_c	T1	T3	T5	T2	T4	T6	D1	D3	D5	D2	D4	D6
1	T1T4T5	+1/3	-2/3	+1/3	+	-	+	i_a		i_c		- i_b							
2	D2D3D6	0	0	0	+	-	+								- i_b		i_a		i_c
3 (1)	T1T4T5	+1/3	-2/3	+1/3	+	-	+	i_a		i_c		- i_b							
4	T1T4D6	+2/3	-1/3	-1/3	+	-	+	i_a				- i_b					i_a		i_c
5 (2)	D2D3D6	0	0	0	+	-	-												
6 (4)	T1T4D6	+2/3	-1/3	-1/3	+	-	+	i_a				- i_b							i_c
7 (1)	T1T4T5	+1/3	-2/3	+1/3	+	-	+	i_a		i_c		- i_b							
8 (2)	D2D3D6	0	0	0	+	-	+								- i_b		i_a		i_c
9 (1)	T1T4T5	+1/3	-2/3	+1/3	+	-	+	i_a		i_c		- i_b							
10 (4)	T1T4D6	+2/3	-1/3	-1/3	+	-	+	i_a				- i_b							i_c
11 (2)	D2D3D6	0	0	0	+	-	+								- i_b		i_a		i_c
12 (4)	T1T4D6	+2/3	-1/3	-1/3	+	-	+	i_a				- i_b							i_c
13 (1)	T1T4T5	+1/3	-2/3	+1/3	+	-	+	i_a		i_c		- i_b							
14 (2)	D2D3D6	0	0	0	+	-	+								- i_b		i_a		i_c
15	T1D3D6	+1/3	+1/3	-2/3	+	-	+	i_a							- i_b				i_c
16 (4)	T1T4D6	+2/3	-1/3	-1/3	+	-	+	i_a				- i_b							i_c
17 (2)	D2D3D6	0	0	0	+	-	+								- i_b		i_a		i_c
18 (4)	T1T4D6	+2/3	-1/3	-1/3	+	-	+	i_a				- i_b							i_c
19	T1T4T6	+2/3	-1/3	-1/3	+	-	-	i_a				- i_b	- i_c						
20	T1D3T6	+1/3	+1/3	-2/3	+	-	-	i_a					- i_c						
21	D2D3D5	0	0	0	+	-	-												
22 (20)	T1D3T6	+1/3	+1/3	-2/3	+	-	-	i_a					- i_c					i_a	
23 (19)	T1T4T6	+2/3	-1/3	-1/3	+	-	-	i_a				- i_b	- i_c						i_c

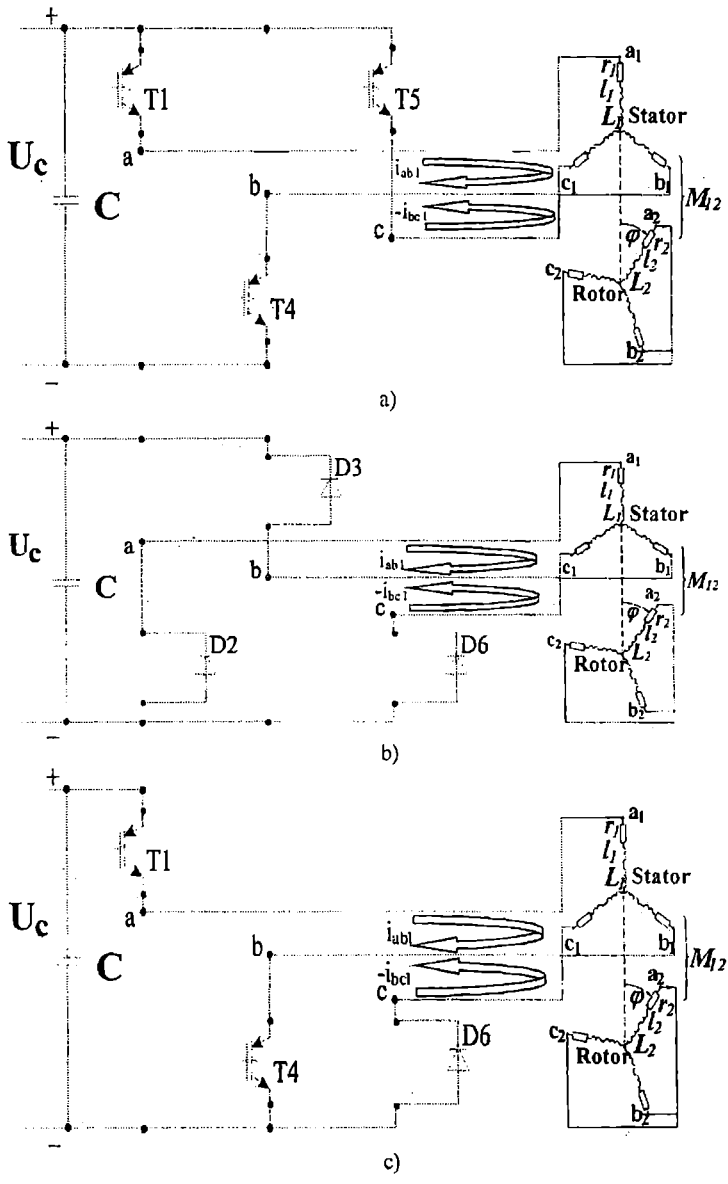


Fig. 3. Equivalent circuits for combinations of keys T1T4T5 (a), D2D3D6 (b), T1T4D6 (c)

REFERENCES

1. *Справочник по автоматизированному электроприводу / Под ред. В.А. Елисеева и А.В. Шинянского. -М.: Энергоатомиздат, 1983.- 616 с.*
2. *Toshitaro J.Takeuchi. Theory of SCR Circuit and Application to Motor Control. Electrical Engineering College Press, Tokyo, 1968.*
3. *Радимов С.Н., Букили Хишам. Коммутационные процессы в трехфазных АИН при формировании выходного напряжения по методу ШИМ // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. Херсон: ХГТУ, 2000. №1(6). – С. 121-128.*

АНАЛИЗ СВЯЗИ «СТРУКТУРА – СВОЙСТВО (АКТИВНОСТЬ)» НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ

Н.В.Витюк

Совершенствование методов органического синтеза привело к возможности получать соединения практически любой задуманной химиком структуры. Количество ежегодно синтезируемых и выделяемых из природных источников новых химических соединений исчисляется десятками тысяч. Среди такой массы химических соединений наряду с полезными веществами (лекарства, продукты бытовой химии), могут быть и вещества, оказывающие вредное влияние на человека и окружающую среду.

Возникшая в недрах органической химии задача предсказания по структуре химического соединения его активность (свойство), с одной стороны, развилась в одну из важнейших проблем таких дисциплин, как химическая технология, фармакология, молекулярная физика, экология и т.д., с другой, - стимулировала прогресс в области обработки экспериментальных данных. В прогнозировании биологической активности химических соединений по их структуре перспективными являются кибернетические методы обработки информации. При этом предполагается, что исследователю ничего не известно о механизме действия химического соединения. Живой организм рассматривается как некий «черный ящик», в который закладывается химическое соединение с известной структурой, после чего наблюдаются те или иные особенности функционирования молекулы, проявляющиеся в некотором биологическом отклике. В общем случае решение проблемы «структура химического соединения – его активность (свойство) = (QSA(P)R - *англ.*)» [1] состоит из трех основных этапов:

1. Измерение отклика A исследуемого соединения, т.е. величины его свойства – (физико-химических характеристик, биологического воздействия и т.д.), отнесение исследуемого соединения к тому или иному классу активности.

2. Описание молекулы в терминах структурных признаков. Понятие химической структуры чрезвычайно многообразно. В нем заключена информация о присутствии определенных функциональных групп или фрагментов, о топологической связанности различных атомов молекулы, ее пространственном и электронном строении, физико-химических свойствах. Поэтому в решении задачи QSA(P)R основное внимание уделяется данному этапу. При этом выбор того или иного способа описания структуры диктуется характером конкретно решаемой задачи и ограничением затрат на получение экспе-

риментальных и расчетных данных отражающих химическую структуру. Минимальные затраты достигаются применением методов, в которых максимально используется информация, получаемая из структурных формул - перечислительного описания структуры, например, указания вида заместителя и его положения в молекуле либо топологических подходов, использующих изображение химической структуры молекулярным графом. Обычно для адекватного описания молекул привлекается многомерное пространство структурных признаков S .

Топологические подходы к описанию молекулярной структуры в общем случае можно разделить на две группы. К первой группе относятся методы, в которых из структурных формул молекул выделяют дескрипторы - определенные функциональные группы атомов или структурные фрагменты. Одним из недостатков такого описания является отсутствие информации об окружении дескрипторов и их взаимного положения. Таким образом, в рамках первой группы подходов дескрипторы описывают локальные характеристики молекулярной структуры, а информация о молекуле, как целого, отсутствует. Во второй группе подходов используются индивидуальные характеристики структуры - топологические индексы, инварианты молекулярных графов, однако при этом теряется информация о природе атомов, составляющих молекулу и невозможно выделить функциональные группы, ответственные за данное свойство.

Для более полного описания структуры молекулы в [2] была предложена дескрипторно-топологическая модель молекулы (ДТМ), являющаяся симбиозом перечисленных подходов. Согласно ДТМ, из структурных формул исследуемых молекул составляющих обучающую выборку объемом N , исходя из поставленной задачи выделяют *a-priory* набор n дескрипторов D_1, D_2, \dots, D_k и определяют их положение в молекуле и взаимное расположение. Каждой молекуле задается реберно-взвешенный граф, причем любому дескриптору D_k соответствует одна вершина молекулярного графа, несмотря на то, что в общем случае дескриптор может состоять из нескольких атомов. Для каждого графа определяется матрица расстояний. Веса ребер могут аппроксимироваться применением основных физико-химических характеристик атомов, посредством которых осуществляются междескрипторные связи. Тогда недиагональные элементы d_{pq} матрицы расстояний рассчитываются, например, по формуле

$$d_{pq} = \sum_l \frac{b_{mk} z_m z_k}{6} \quad (1)$$

где z_m и z_k - числа всех электронов у атомов m и k , непосредственно соединенных химической связью кратности b_{mk} . Суммирование проводится по кратчайшему пути l между вершинами p и q , проходящему через вершины m и k ($p \dots m-k \dots q$).

На основе построенных таким образом матриц расстояний определяют характеристики дескриптора D_j ; W_j - сумма топологических расстояний d_{pq} от дескриптора D_j до остальных вершин молекулярного графа и W_{rs} - наименьшее расстояние d_{pq} между дескрипторами D_r и D_s . Если D_k отсутствует в данной молекуле, тогда $W_j=0$; если отсутствует любой дескриптор из пары D_r и D_s , тогда $W_{rs}=0$. Такое описание молекулы позволяет расширить рабочий словарь структурных признаков в QSA(P)R, поскольку численные характеристики могут быть определены и для фрагментов молекул, которые непосредственно не влияют на проявление изучаемого свойства, но определяют форму молекулы. В ДТМ можно использовать и интегральные характеристики, отражающие структуру молекулы либо ее некоторой части как единого целого, например, топологические индексы, дипольные моменты, молекулярные рефракции и т.д.

При выборе дескрипторов D_j ориентируются на вероятности их появления в подвыборках активных (P_j^a) и неактивных (P_j^n) соединений, определяемой делением числа соединений содержащих D_j в данной подвыборке на ее объем. Очевидно, что дескрипторы, для которых разделяющая способность $\Delta P_j = |P_j^a - P_j^n|$ близка к 1 или 0, малоинформативные.

3. Выбор вида функции $A=f(S)$ - установление математических закономерностей, отражающих связь структура – отклик и позволяющих решать обратную задачу QSA(P)R, т.е. прогнозировать свойство (активность) неизвестной молекулы, исходя из ее структурных особенностей. При этом алгоритм проведения третьего этапа зависит от того, в каких шкалах – бинарной, ранговой или интервальной проведено описание структурных признаков молекулы и измерение ее отклика. Различие алгоритмов решения проблемы QSA(P)R при описании отклика молекулы в бинарной шкале ($A=1$, если молекула обладает данным свойством или данным уровнем активности, иначе $A=0$) - или интервальной шкалой измерений, привело к выделению двух видов решения задачи QSA(P)R на двух уровнях – качественном (уровень I) и количественном (уровень II).

Новые представления о характере полезной информации содержащиеся в используемых данных, а зачастую и сам характер данных не позволяет применять для их обработки классические статистические методы. В связи с этим возникают совершенно новые задачи обработки экспериментальных данных, а значит и новые методы решения проблемы QSA(P)R, в частности, основанные на идеях и алгоритмах теории распознавания образов (ТРО) [2,3]. Основная предпосылка ТРО заключается в том, что существует некоторое множество объектов с известным описанием, каждый из которых может принадлежать одному из образов (классов). Задача ТРО состоит в выработке решающего правила позволяющего относить объекты к соответствующему классу. С этой целью в решение проблемы QSA(P)R дополнительно включаются новые этапы: выбор типа решающего правила; обучение правила; оцен-

ка качества полученного правила.

В связи с быстрым ростом числа как программных продуктов, реализующих многочисленные подходы к решению проблемы QSA(P)R, так и различных баз данных по свойствам химических соединений, в распознающей системе возросла роль эксперта, как объекта, интеллектуальной деятельности которого принадлежит прерогатива принятия решения.

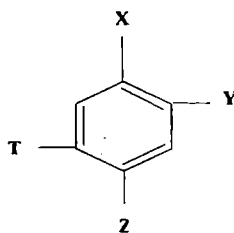
QSA(P)R, как частный случай решения задачи ТРО, может осуществляться с помощью некоторой последовательности преобразований, результатом которой является отображение объектов класса А в один кластер, а класса В - в другой. Deskрипторно-топологическая модель молекулы позволяет среди других проводить преобразования, основанные на принципе структурного соответствия. Этот принцип утверждает, чем ближе по структуре к самому активному соединению исследуемое, тем выше должна быть его активность [4]. При этом рассматривается структурное подобие исследуемой молекулы m_i относительно эталонной молекулы m_o , проявляющей наибольшую активность. Индекс структурного подобия молекул m_i и m_o определяется как метрика в пространстве структурных характеристик W_j и W_{rs} выбранных n дескрипторов D_j ($j = 1, \dots, n$) [5]

$$d_1(m_i, m_o) = \sqrt{\sum_j (W_j^{m_i} - W_j^{m_o})^2},$$

$$d_2(m_i, m_o) = \sqrt{\sum_r \sum_s (W_{rs}^{m_i} - W_{rs}^{m_o})^2}. \quad (2)$$

Такой подход представляется естественным для изучения взаимодействия лиганда с соответствующими рецепторами на основе “молекулярного узнавания”, одним из основных механизмов которого является возникновение индуцированного структурного соответствия между функциональными группами лиганда и рецептора [4] и ранее при анализе связи «структура-запах» позволил вскрыть основные закономерности влияния структуры молекулы на ее одорантные свойства [5].

Применим основные идеи ТРО для анализа связи «структура - сладкий вкус» производных бензола.



Постановка такой задачи имеет ряд характерных особенностей. Сладкие

синтетические вещества привлекли к себе внимание исследователей еще в период второй мировой войны. Было обнаружено, что многие производные бензола по сладости превышают сахарозу и при этом не вызывают ощущения горечи [6-8]. Для 2-производных 5-нитроанилина в [8] было получено регрессионное уравнение, связывающее логарифм сладости относительно сахарозы с характеристиками заместителя в положении Y. В работах [9-13] круг исследуемых соединений расширился. Было обнаружено, что сладость производных бензола зависит от положения и природы заместителя. Однако в дальнейшем было найдено, что некоторые производные не обладают сладким вкусом [10], а многие “сладкие” производные бензола проявляют токсичность [9]. Несмотря на то, что к тому времени сформировались основные положения, объясняющие возникновение сладкого вкуса [12-14], интерес к производным бензола, как к потенциальным сладким веществам, угас. Исследователи, основываясь на частных закономерностях, не смогли провести на должном уровне, с одной стороны, анализ связи “структура-вкус”, и, с другой стороны, выявить структурные закономерности, приводящие к возникновению нежелательных побочных эффектов. Однако, возросший в настоящее время интерес к экологически чистым синтетическим имитаторам запаха и вкуса пищевых продуктов, обуславливает необходимость такого анализа.

Математическое решение проблемы QSA(P)R применительно к данной задаче также осложнено рядом трудностей. Определение любого биологического отклика, в частности, вкусового, трудно поддается формализации и численному выражению в интервальной шкале. Исходный материал имеет ряд особенностей, характерных для случаев, когда исследователь использует не результаты целенаправленного синтеза, а различные литературные данные (пассивный эксперимент). Такие выборки редко являются итогом систематического статистического дизайна и требуют оптимальной стратегии решения поставленной задачи, особенно при малом количестве исследуемых соединений.

В данной работе изучалась выборка из 25 производных бензола (табл.1), проявляющих различные вкусовые качества - от очень сладкого (вкус сахарозы принят за единицу) до отсутствия такового. Наличие в выборке соединений, характеризующихся широким интервалом значений сладости либо констатацией факта наличия (отсутствия) сладости, обусловило использование ранговой шкалы для описания активности. Ранг, равный единице, приписывался самому сладкому соединению - 1-пропоксипроизводному (№1). Соединениям с перекрывающимися оценками активности приписывался связанный ранг, равный среднему значению рангов активности данных молекул. При анализе связи «структура – вкус» на качественном уровне формировались две подвыборки соединений: активных (№№1-19) и неактивных - не проявляющих сладкий вкус (№№20-25). Активные соединения (№№14-19), не имеющие оценок сладости, не рассматривались на первой стадии количественного анализа.

Таблица 1. Оценка сладкого вкуса производных бензола. Ранги экспериментальных оценок сладкого вкуса R. Расчетные ранги оценки сладкого вкуса R_c, A_c при качественном (I) и количественном (II) уровнях анализа связи "структура – вкус"

№ пп	Заместитель				Оценка сладкого вкуса	Ранги оценок сладкого вкуса					
						Уровень анализа					
	X	Y	Z	T		(I)		(II)			
				R	R _c	R	A _c	R _c	R' _c		
1	-NH ₂	a)	-H	-NO ₂	5600 ^{8В} 4000 ^{7И}	10	7	1	-1,46	2	2
2	-NH ₂	a)	-H	-CN	2500 ^{10В}	10	8	2	-0,43	8	9
3	-NH ₂	-J	-H	-NO ₂	1410 ^{7В}	10	1	3	-0,80	5	5
4	-NH ₂	b)	-H	-NO ₂	500- 1000 ^{7И}	10	18	4	-0,98	4	4
5	-NH ₂	-Br	-H	-NO ₂	500 ^{8В} 700 ^{10В}	10	4	6,5	-0,73	6	6
6	-NH ₂	c)	-H	-NO ₂	330 ^{8В} 875 ^{8В}	10	17	6,5	-1,17	3	3
7	-NH ₂	-CH ₃	-H	-NO ₂	300 ^{8В} 875 ^{8В}	10	22	6,5	1,41	17	21
8	-NH ₂	d)	-H	-NO ₂	300- 500 ^{6,9И}	10	13	6,5	-1,80	1	1
9	-NH ₂	-Cl	-H	-NO ₂	280 ^{8В}	10	10	9	0,12	10	13
10	-NH ₂	-O-CH ₃	-H	-NO ₂	160 ^{6,8В}	10	15	10	-0,72	7	7
11	-NH ₂	-OH	-H	-NO ₂	100 ^{10И}	10	16	11	0,51	13	17
12	-NH ₂	-F	-H	-NO ₂	70 ^{8В}	10	9	12	0,38	12	15
13	-NH ₂	-H	-H	-NO ₂	54 ^{9И}	10	20	13	1,19	16	20
14	-OH	-C ₂ H ₅	-H	-NO ₂	+ ^{10И}	10	21	-	(1,48)	-	22
15	-OH	-Br	-H	-NO ₂	+ ^{10И}	10	3	-	(-0,37)	-	10
16	-NO ₂	-Cl	-H	-CF ₃	+ ^{10И}	10	5	-	(1,59)	-	23
17	-NH ₂	-F	-H	-CF ₃	+ ^{10И}	10	12	-	(0,45)	-	16
18	-NH ₂	-Cl	-H	-CF ₃	+ ^{10И}	10	6	-	(0,11)	-	12
19	-NH ₂	-Br	-H	-CF ₃	+ ^{10И}	10	2	-	(-0,63)	-	8
20	-NO ₂	a)	-H	-NH ₂	0 ^{10И}	22,5	24	16,5	0,75	14	18
21	-NH ₂	e)	-H	-NO ₂	0 ^{10И}	22,5	11	16,5	-0,01	9	11
22	-NH ₂	f)	-H	-NO ₂	0 ^{10И}	22,5	14	16,5	0,18	11	14
23	-OH	a)	-H	-NO ₂	0 ^{10И}	22,5	23	16,5	1,63	18	24
24	-NH ₂	-NH ₂	-NO ₂	-H	0 ^{10И}	22,5	19	16,5	1,10	15	19
24	-NH ₂	-CH ₃	-NO ₂	-H	0 ^{10И}	22,5	25	16,5	1,70	19	25

a) -O-C₃H₇(н); b) -O-C₃H₇(изо); c) -O-C₂H₅; d) -C₄H₉(стоп); e) -(CH₂)₃COOH; f) -CH₂OH;
+ - присутствует сладкий вкус; 0 - сладкий вкус отсутствует

Применим дескрипторно-топологическую модель молекулы для описания структур исследуемой выборки производных бензола. Перечень дескрипторов, описывающих исследуемую выборку: $-NH_2$ (0,01), $-NO_2$ (0,07), $-CH_3$ (0,08), $-O-$ (0,15), $-OH$ (0,12), $-CF_3$ (0,21), $-CN$ (0,05), $-Br$ (0,16), $-Cl$ (0,16), $-F$ (0,10), $-J$ (0,05) (в скобках значение ΔP_j) - свидетельствует, что составить набор дескрипторов, обладающих оптимальной разделяющей способностью, затруднительно. Такая ситуация характерна для данных пассивного эксперимента, и обуславливает применение в анализе «структура – вкус» всего набора выделенных дескрипторов (кроме единожды встречающегося в неактивной подвыборке дескриптора, соответствующего карбонильному атому кислорода), а также обобщенного дескриптора, представляющего атом галогена безотносительно к его химической природе. Этот дескриптор обладает оптимальной разделяющей способностью ($\Delta P_j=0,47$) при максимальной вероятности появления ($P_j^a=0,47$).

В ТРО полагается, что объекты различаются как по уровню значений описывающих их признаков, так и структуре значений этих признаков, т.е. по пропорциям их значений [15,16]. Известны методы, с помощью которых выделяются подмножества, однородные в смысле изотропности (объекты, принадлежащие одному и тому же подмножеству, мало отличаются друг от друга по уровню и структуре значений признаков).

Исходя из вышеприведенного принципа структурного подобия активных молекул, можно предположить, что молекулы образующие изотропные подмножества обладают сходными значениями активности. Для проверки этого допущения методом шаров [16] проведено последовательное разделение исследуемых молекул на изотропные подмножества. Данные табл.2 показывают, что практически на всех этапах последовательного деления исследуемых соединений выбираемые подмножества включают молекулы принадлежащие как активному, так и неактивному классам. Следовательно, невозможно разделить исследуемые молекулы на активный и неактивный классы (т.е. решить проблему QSA(P)R на качественном уровне) используя порознь значения структурных характеристик $\{W_j\}$ или $\{W_{rs}\}$.

Таблица 2. Последовательное выделение структурных изотропных подмножеств исследуемых соединений

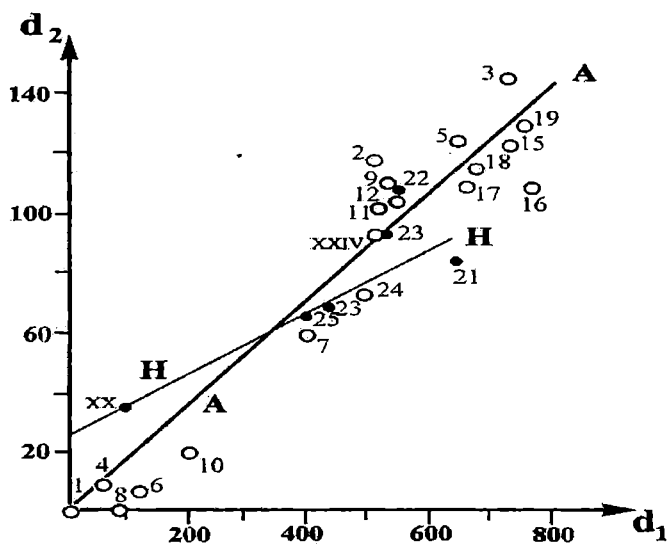
Признаки	Этап выделения	Натуральная шкала измерений	Стандартизованная согласно (5) шкала измерений
		Номера соединений	
W_j	1	{4, 5, 13, 17-19, 24, 25}	{1,11-13, 15-19, 22-25}
	2	{7, 8, 10, 12, 14, 16, 20}	{7, 8, 10,14, 20}
	3	{1},{2},{3},{6},{9},{11},{21,22},{23}	{2},{3-6},{9}, {21},
W_{rs}	1	{1, 3, 4, 8, 13,15,17-19, 22, 24, 25}	{1,3-5, 7, 8, 10-19, 24, 25}
	2	{10,12,14,16, 20, 23}, {24}	{2},{6},{9},{20},{21},{22}, {23}
	3	{2},{5},{6},{7},{9},{11},{21}	

Для решения поставленной задачи применена геометрическая интерпретация принципа структурного подобия - положение молекулы m_i в системе координат структурных признаков $\{d_1, d_2\}$, центр которой соответствует положению молекулы-эталона m_0 , (в данном случае, соединению №1), сопоставляется с активностью i -ой молекулы [17].

Было обнаружено, что положения активных и неактивных молекул с определенной точностью можно охарактеризовать двумя прямыми (А- и N-директрисами), вдоль которых группируются отображения молекул соответствующих классов. Уравнения этих прямых имеют вид:

$$\text{A- директриса: } d_2 = 0,177 d_1, n = 19, \sigma^2 = 131, \quad (3)$$

$$\text{N- директриса: } d_2 = 0,115 d_1 + 25,702, n = 6, \sigma^2 = 204. \quad (4)$$



Положения отображений исследуемых соединений относительно активной (А) и неактивной (Н) директрис в системе топологических координат d_1 и d_2 (● - неактивные молекулы)

Введением директрис мы попытались учесть тот факт, что близости структур в традиционном химическом понимании не всегда соответствует близость биологического действия [18]; поэтому при решении задачи QSA(P)R необходимо выделить наиболее общие тенденции в строении молекул. Сопоставление положений исследуемых молекул с их активностями позволяет

установить ряд закономерностей. В начале А – директрисы имеется кластер активных молекул. Область пересечения А– и N– директрис обеднена активными молекулами. За этой областью вдоль А–директрисы располагается второй кластер активных молекул; характерно, что молекулы, составляющие этот кластер (3, 5, 9, 12, 15-18), имеют в своем составе атом галогена.

Для установления математической связи «структура – вкус» определялись позиционные характеристики точки отображения молекулы m_i – расстояния: от m_i до начала координат ($S_{0,0}$), до точки пересечения А– и N– директрис ($S_{A,N}$), определяемой решением системы уравнений (3,4), а также ориентированные расстояния до А– и N– директрис и их модули, соответственно, S_A , S_N , $S_{|A|}$, $S_{|N|}$. В таблице 3 приведены также коэффициенты полуранговой корреляции τ [19] между величинами позиционных характеристик S и рангами активности R при решении задачи «структура – вкус» как на качественном (I), так и на количественном (II) уровнях.

Анализ табл.3 показывает, что на проявление сладкого вкуса кроме расстояния исследуемой молекулы от начала координат d_1 , d_2 топологического графика, также влияют расстояния от отображения исследуемой молекулы до точки пересечения А– и N–директрис ($S_{A,N}$) и модуль расстояния до N–директрисы ($S_{|N|}$). Такая сложная зависимость обусловлена наличием двух активных кластеров и их различным положением относительно N–директрисы и начала координат. Отрицательные значения коэффициентов τ свидетельствуют, что с возрастанием $S_{A,N}$ и $S_{|N|}$ ранг активности уменьшается, что соответствует увеличению сладости соединения.

При прогнозировании свойства часты случаи, когда достаточно упорядочить исследуемые соединения по степени проявления анализируемого свойства, т.е. определить ранг активности. В таком случае можно воспользоваться методом множественной ранговой корреляции, согласно которому ранг прогнозируемой активности A_c i -ой молекулы определяется по формуле $A_c = \sum_{j_i} S_{ji}^o \tau_j$, где τ_j – коэффициент полуранговой корреляции величины j -ой позиционной характеристики с рангом активности, S_{ji}^o нормализованное значение j -ой позиционной характеристики реализуемой на i -ой молекуле,

$$S_{ji}^o = (S_{ji} - S_{cpj}) / \sigma_j, \quad (5)$$

где S_{cpj} – среднее арифметическое значение j -ой позиционной характеристики, σ_j – ее среднее квадратическое отклонение. Затем значения A_c последовательной нумерацией преобразовывались в целочисленные значения рангов R_c . В табл. 1 представлены рассчитанные ранги активности R_c (при суммировании использовались $\tau_j > 0,25$) для двух уровней решения задачи «структура – вкус».

Качество прогнозирования можно охарактеризовать коэффициентом корреляции по Спирмену ρ между рангами активности определенными экспериментально (R) и рассчитанными (R_c). Сравнение полученных значений коэффициентов корреляции $\rho^{(I)} = 0,48$, $\rho^{(II)} = 0,72$ с критическими ($\alpha=0,05$: $\rho^{(I)}=0,34$; $N = 25$; $\rho^{(II)}=0,39$) свидетельствует о значимости установленной связи «структура – вкус».

Таблица 3. Координаты d_1 и d_2 точек-отображений молекул. Позиционные характеристики исследуемых соединений, коэффициенты полуранговой корреляции τ для прогнозирования активности на качественном (I) и количественном (II) уровнях

№/ №	d_1	d_2	$S_{0,0}$	$S_{A,N}$	S_A	S_N	$S_{ A }$	$S_{ N }$
1	0	0	0	420,9	0	25,5	0	25,5
2	505,8	114,6	520,6	101,9	-23,7	-27,9	23,7	29,7
3	733,8	144,4	748,0	327,2	-13,9	-33,7	13,9	33,7
4	55,0	10,4	55,9	365,0	-0,3	21,9	0,3	21,9
5	638,0	126,0	650,3	229,6	-12,9	-26,7	12,9	26,7
6	102,6	10,4	103,5	317,9	8,1	27,4	8,1	27,4
7	379,9	60,9	384,9	36,7	6,2	8,3	6,2	8,3
8	79,5	0	79,5	342,5	13,9	34,7	13,9	34,7
9	564,0	109,7	574,6	153,9	-10,0	-19,3	10,0	19,3
10	194,1	20,8	195,1	226,6	13,1	26,8	13,1	26,8
11	538,4	104,2	548,0	127,2	-8,6	-16,3	8,6	16,3
12	540,8	104,8	551,4	130,4	-9,1	-17,0	9,1	17,0
13	505,8	92,5	514,3	93,4	-2,4	-8,1	2,4	8,1
14	477,9	77,2	484,2	72,6	7,5	3,6	7,5	3,6
15	728,3	124,1	738,5	317,5	4,8	-14,5	4,8	14,5
16	759,1	110,5	766,9	57,6	24,0	3,0	24,0	3,0
17	658,6	109,2	667,9	247,1	7,5	-7,5	7,5	7,5
18	681,9	114,6	691,6	270,7	5,6	-10,8	5,6	10,8
19	752,6	129,5	764,0	343,0	4,2	-16,6	4,2	16,6
20	101,8	36,0	108,2	314,7	-17,6	1,4	17,6	1,4
21	649,7	83,6	655,4	235,7	30,6	16,3	30,6	16,3
22	544,0	108,3	554,6	134,0	-11,5	-19,6	11,5	19,6
23	421,5	68,0	426,4	8,4	6,4	6,1	6,4	6,1
24	500,4	92,7	508,6	87,7	-4,4	-9,7	4,4	9,7
25	382,4	65,3	387,5	33,6	2,6	4,6	2,6	4,6
$\tau^{(I)}$	-0,047	-0,049	-0,049	-0,334	0,012	0,037	0,126	-0,286
$\tau^{(II)}$	0,247	0,162	0,226	-0,513	-0,209	-0,056	0,087	-0,720

На второй стадии установления связи “структура – активность” была предпринята попытка прогнозирования ранга оценки сладкого вкуса соединений (№14-№19), не имеющих количественной оценки активности и поэтому

на первом этапе анализа не включенных в обучающую выборку. По значениям S_{cp} , σ_j и τ_j полученным для структурных параметров $S_{A,N}$ и $S_{|N|}$ обучающей выборки были определены расчетные ранги A_c соединений (№14-№19), (соответственно, 1,49; -0,37; 1,59; 0,45; 0,11; -0,63), которые затем совместно с расчетными рангами молекул обучающей выборки преобразовывались в целочисленные ранги R'_c (табл. 1). Из сопоставления рангов активностей тестируемых соединений и молекул обучающей выборки можно предсказать оценки сладкого вкуса (относительно сахарозы) для соединений: (№19) - 300-800, (№15) - \approx 300, (№18) -150-250, (№17) -<50, (№14, №16) - \approx 1.

Аналогичные данные были получены при прогнозировании наличия сладкого вкуса у тестируемых молекул (решение проблемы QSA(P)R на уровне I). Активными, т.е. обладающими сладким вкусом были признаны соединения (№15, №17-№19). Соединения (№14, №16) с рассчитанной активностью меньшей единицы были отнесены к неактивным, поскольку в составе обучающей выборки отсутствовали соединения, проявляющие сладкий вкус в меньшей степени, чем сахароза, т.е. с оценками сладкого вкуса в интервале 0,5 - 1.

Полученные результаты показывают перспективность предлагаемой стратегии решения прямой и обратной задач QSA(P)R с математически «нечетко» определяемым откликом, например, вкусом. Введение A- и N-директрис и позиционных характеристик отображений молекул в признаковом пространстве позволяет в полной мере описать сложный вид кластеров и установить соответствие между положениями отображений молекул (структурой) и проявляемыми ими свойствами. Разрабатываемый подход привлекателен тем, что он не опирается на конкретный механизм действия химического соединения на живой организм, а установление связи «структура – активность (свойство)» проводится методами статистически надежно работающими при небольшом числе экспериментальных данных, при этом активность может быть выражена в любых шкалах измерений. В [20] показано развитие предлагаемого метода в часто встречающихся случаях качественного анализа, когда молекула с наибольшей активностью не отражает всей структурной информации молекул обучающей выборки и поэтому не может быть использована в качестве эталона в преобразованиях типа (1,2).

Применение предложенного подхода к большому банку экспериментальных данных величин как полезных, так и нежелательных токсичных свойств, позволит выявить структурные признаки, ответственные за тот или иной вид биологического действия вещества. Полученные результаты могут существенно помочь как в создании новых гипотез о строении тех или иных рецепторов, так и при синтезе синтетических препаратов с заданным комплексом свойств.

ЛИТЕРАТУРА

1. Hansch L. and Leo A. *Exploring QSAR Fundamentals and Applications in Chemistry and Biology*. American Chemical Society, Washington, DC, 1995.
2. Витюк Н.В., Кузьмин В.Е. В сб. «Математические методы распознавания образов (ММО-IV)», Рига, 1989. С.77-79.
3. Берц С., Хердон У. В сб. *Искусственный интеллект: применение в химии*. Ред. Т.Пирс, Б.Хони. – М.: Мир. 1988. - С.199-205.
4. Lehn J.-M., *Angew.Chemie*. -1988.- V. 27. - P.89-95.
5. Витюк Н.В., Кузьмин В.Е. Докл. АН УССР.-1991.- №3.- С.110-115; Витюк Н.В. *Химия и хим. технология*.-1992.-Т.35.-№8.- С.26-31. *Хим.-фарм. журн.*-1994.- №11. - С.39-43.
6. Blanksma J.J. and Weydan Van Der P.W.M., *Rec. trav. Chim.*-1940.- V.59.- P.629.
7. Blanksma J.J. *Rec. trav. chim.* -1946.- V.65.- P. 203.
8. Blanksma J.J. and Hoegen D. *Rec. trav. chim.* -1946.- V.65.- P.333.
9. Hrdlicka J. *Vyziva lidu*. -1973.-V.28.- P.9.
10. Bragg R.W., Chow J., Dennis L., et al. *J. Chem. Educ.* -1978. - V.55. - P.81.
11. Blaha K., Glanzova J., Pospisek J. *Chem. Listy*. -1979.- V.73.- P.698.
12. Крутошикова А., Угер М. *Природные и синтетические сладкие вещества: Пер. со словацк.*- М.: Мир, 1988. (Krutosisfova A. and Uher M. *Prirodne a synteticke lathy sladkej chuti*, Slovenska Academie Vied, Bratislava, 1985).
13. Deutsch E.W. and Hansch C. *Nature*. -1966.- V.211.- P. 75.
14. Shallenberger R.S., *J.Food Sci.* -1963.- V.28.- P. 584.
15. Стьюпер Э., Брюггер У., Джурс П. *Машинный анализ связи химической структуры и биологической активности: Пер. с англ.* М.: Мир, 1982. - 235 с.
16. Плюта В. *Сравнительный многомерный анализ в экономическом моделировании*. М.: Финансы и статистика, 1989. - 175 с.
17. Vityuk N.V. In "Computer-Assisted Lead Finding and Optimization" (11th European Symposium on QSAR, Lausanne, Switzerland, 1996). P.50 A.
18. Голендер В.Е., Розенблит А.Б. *Вычислительные методы конструирования лекарств*. Рига: Зинатне, 1978. - 238 с.
19. Дубровский С.А. *Прикладной многомерный статистический анализ*. М.: Фин. и стат., 1982. - 216 с.
20. Vityuk N V. *Pattern recognition and Image Analysis*.- 1998. -V.8. - № 1. - P. 42-47.

1938 ГОД. “ВОЕННО-ОФИЦЕРСКАЯ ПОВСТАНЧЕСКАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ” В СТЕНАХ ОИИВТА

НА МАТЕРИАЛАХ АРХИВА УСБУ В ОДЕССКОЙ ОБЛАСТИ И
“ОДЕССКОГО МАРТИРОЛОГА”

Н.И.Михайлуца

В самый пик сталинских репрессий, направленных на “разоблачение и искоренение врагов народа” весной 1938 г. был сфабрикован процесс над членами так называемой “Военно-офицерской повстанческой организации”. Оперуполномоченным XI отдела УНКВД по Одесской области Морозовским, по заранее составленному сценарию, была “раскрыта” контрреволюционная организация в количестве 17 человек. В ее состав входили “бывшие белые офицеры, состоявшие на службе в качестве педагогов в военных и гражданских высших учебных заведениях г.Одессы”. В члены столь опасной для советской власти организации были включены и сотрудники Одесского института инженеров водного транспорта (далее, ОИИВТ - первоначальное название ОГМУ в 1930-1945 гг.):

■ Де-Метц Михаил Георгиевич - доцент, преподаватель начертательной геометрии;

■ Морозов Петр Тихонович и Ковалев Иван Иванович - преподаватели математики и физики на рабфаке ;

■ Исакович Александр Соломонович - преподаватель английского языка;

■ Труш Федор Иванович - аспирант и одновременно ассистент кафедры начертательной геометрии.

Всем им инкриминировалось непосредственное участие в контрреволюционной организации, которая входила в состав зарубежной – “Российский Общевоинский союз”(РОВС), штаб которой находился не то во Франции, не то в Болгарии. Якобы завербованные руководителем штаба организации ге-

нерал-майором Лялиным (к тому времени был арестован НКВД), заговорщики ставили перед собой следующие цели:

- свержение существующего строя, реставрация буржуазно-помещичьих порядков;

- возвращение интеллигенции и офицерству привилегированного положения, которое они занимали до революции;

- вербовка и организация новых членов, которые в нужный момент должны будут принять участие в восстании вместе с другими контрреволюционными организациями, троцкистами, националистами и т.п.;

- разоружение одесской пехотной школы, захват штаба корпуса и оружия.

Обвинения на самом деле были совершенно надуманы. Они строились на непроверенных и неконкретных показаниях арестованных, часто давались под физическим и психологическим воздействием представителей следствия (избиения, шантаж, исключение сна и т.п.).

Единственное, что объединяло арестованных (о чем свидетельствуют материалы следственных дел – М.Н.) было дореволюционное прошлое. Они были военными либо имели армейские чины в империалистическую или гражданскую войну:

Де-Метц М.Г. – с 1914 по 1919 год был преподавателем математики в Одесском кадетском корпусе в чине коллежского советника;

Морозов П.Т. – до 1917 г. учился в духовной семинарии, при Временном правительстве учился в Одесском артиллерийском училище, а затем служил в белой армии Деникина;

Ковалев И.И. – будучи призван в царскую армию в 1916 г. и, после окончания Киевского военного училища в чине прапорщика, воевал на германском фронте до 1917 года. В январе 1919 – мобилизован белыми. С февраля 1920 г. – в Красной армии командир взвода, преподавателем курсов, заведующий библиотекой в Одесском доме РККА;

Труш Ф.И. – в 1918-1919 гг. являлся участником боев против красных и денкинцев на стороне войск С.Петлюры, к тому же “был членом “Просвители” и проводил украинскую националистическую работу”.

Исключением из списка был лишь Исакович А.С. – юрист по образованию, владевший английским языком в совершенстве. Уже последнего достаточно было в то время, чтобы человека можно было представить “врагом

народа”, английским шпионом и т.п. А тут еще работа юрисконсультom с 1922 по 1927 годы в Индо-Европейском телеграфном обществе (Английское концессионное предприятие в г.Одессе – Н.М.) была трактована следователем как шпионаж в пользу английской разведки “Сикрет интелидженс сервис”.

Выводы о надуманности обвинений следствия можно сделать на основании материалов архивных дел №№ 5903п, 20913п, 10874п, 15809п. По нашему мнению, определенно прослеживается следующее.

Во-первых, обычно такие процессы были коллективными, т.е по одному делу, статье уголовного кодекса проходили несколько человек, а не каждый в отдельности.

Во-вторых, к выдуманной организации причислялись совершенно разные люди, по своим взглядам, убеждениям и действиям. Так, участниками повстанческой организации были и бывшие белогвардейцы-деникинцы, и красные, и петлюровцы. Очевидно сам следователь не ориентировался в политическом их противостоянии и военном противоборстве.

В-третьих, мотивация следователя Морозовского настолько примитивна, что даже была бы смешна, если б не была трагичной. К примеру, Де-Метца М.Г. обвиняли в “неправильном преподавании начертательной геометрии в период социалистического строительства”, во “вредительском преподавании дисциплины, в результате чего студенты не ориентировались в проекциях корабля”; в “украинском буржуазном национализме”, когда он читал лекции на украинском языке. Трушу Ф.И. приписывалось то, что он антисемитски относится к студентам еврейской национальности: “Держал их, например, у доски без всяких оснований перед всей аудиторией”. А вот деньги, полученные за ведение спорных дел Индо-Европейского общества бывшим адвокатом Исаковичем в 1922-1927 гг., следователь представил как систематические денежные средства, полученные за шпионскую работу в интересах английской разведки. И наконец, в делах подследственных фигурируют люди, якобы завербовавшие Де-Метца и других в вышеупомянутую организацию, но более подробное изучение дел показывает, что некоторые “враги народа”, как доцент Васильев Н.Н., который “привел в организацию” Де-Метца, к уголовной ответственности не привлекались вовсе. И в протоколах свидетелей ничего компрометирующего не находим. Наоборот, они, рискуя своей жизнью и положением, высказываются весьма лестно об арестован-

ных.

Например, Гефтер Михаил Абрамович, знавший Де-Метца еще с 1900 года, заявил, что “нередко встречался в Одесском доме ученых с Де-Метцом на научных докладах и концертах, знал его как хорошего педагога”. В те годы аспирант, а в 60-е ректор ОИИВТа А.А.Костюков свидетельствовал: “Знал его только с положительной стороны. Как о преподавателе и человеке о нем говорили хорошо. Вежлив, требователен, никакой враждебности к Советской власти”.

Но наибольшую симпатию к Де-Метцу М.Г. выказал Коваленко Николай Игнатьевич (бывший ректором в 1971-78 гг.) :

“Он был жизнерадостным и очень любил верховую езду. Припоминаю случай, когда ему весной 1937 г., после окончания лекционного курса студенты в знак уважения преподнесли букет живых цветов”.

...Однако маховик репрессивной машины был раскручен в полную силу как по всей стране, так и в Одессе...

Дальше события развивались очень быстро. Обвинительное заключение следователем Морозовским было составлено 4 мая 1938 г. и направлено на рассмотрение тройки при УНКВД по Одесской области, а в выписке из постановления заседания тройки, датированной 6 мая, уже был вынесен приговор – расстрелять. Постановление было приведено в исполнение 4 июня 1938 г. в 24 часа в Одесской тюрьме.

А дочери Де-Метца, Ольге Михайловне, все тот же следователь сообщил, что отец осужден к 7 годам без права переписки. Она, не веря в то, что он, честный человек, посвятивший всю свою жизнь науке, мог совершить какое-либо преступление перед своей Родиной, – писала запросы в ГУЛАГ (Главное управление лагерей во главе с Л.Берия – М.Н.). Но тщетно... Более того, Ольга на себе ощутила, что означает сказанное Сталиным – “Сын за отца не отвечает!”. В данном контексте дочь за невиновного отца также несла наказание – 10 лет исправительно-трудовых лагерей, будучи осуждена 16 октября 1948 г.

И даже после “хрущевской реабилитации” в 1958 г. Ольга Михайловна не узнала правды об отце. Ей сообщили, что отец умер от шока в 1941 г., о чем есть запись в ЗАГСе. Тогда половинчатые меры по десталинизации общества не расставили всех точек над і. По делу Де-Метца М.Г. было принято постановление Президиума Одесского областного суда от 23 марта 1957 г. о

прекращении дела за недоказанностью обвинения. Все же подозрения оставались, поскольку не было доказательств. Только перестроечные “горбачевские” поиски исторической правды довершили дело. Оно было прекращено 10.XII.1988 г. на основании ст.6 п. 2 УПК УССР за отсутствием в деяниях Де-Метца М.Г. состава преступления (т.е. реабилитация).

А какова же судьба остальных наших так называемых “врагов народа”?

- А.С.Исакович, несмотря на то, что проявлял лояльность к большевикам еще до революции, издавал в г.Одессе левую газету «Южное обозрение» (в ней сотрудничал известный большевик Вацлав Воровский – М.Н.), был приговорен 1.X.1938 г. к высшей мере наказания (ВМН), а 9 октября – расстрелян.

- И.И.Ковалева ждала та же участь, что и предыдущих коллег. Его расстреляли на основании обвинительного заключения (4.V.1938) и решения тройки.

- Ф.И.Труш и П.Т.Морозов решением тройки при УНКВД по Одесской области были приговорены к различным срокам заключения в лагерях: Труш – к 10 годам (26.XI.1937), а Морозов - к 5 годам (29.X.1939). Вот еще одно доказательство жестокости следователя и его веры в безнаказанность - в одну организацию были включены люди в разное время осужденные.

В итоге хочется сказать, что как бы не критиковали сегодня “горбачевскую гласность”, все же общество узнало правду о тех трагических сталинских 30-х. Общество нашло в себе силы принять эту боль и, думаю, найдет в себе силы к нравственному очищению и оздоровлению. Об этом надо помнить.

Содержание

ТЕОРИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОРАБЛЯ

Ю.Л.Воробьев, В.И.Тонюк

ПРИБЛИЖЕННОЕ РЕШЕНИЕ ОДНОЙ КРАЕВОЙ ЗАДАЧИ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ КАЧКИ 3

В.Г.Сизов

ОБ ОСТОЙЧИВОСТИ СУДНА С ЗАКРЕПЛЕННОЙ ТОЧКОЙ 18

Yuriy A. Krayniy, Yevgeniy V. Pergayev

CLOSE-FIT CONFORMAL MAPPING PROCEDURE AND ITS APPLICATIONS IN SHIP HYDRODYNAMICS 28

С. В. Бугаев

ВЛИЯНИЕ ВЕТРОВОГО ВОЛНЕНИЯ НА ПРОДОЛЬНУЮ КАЧКУ ПЛАВАЮЩЕЙ МАШИНЫ 38

Г. В. Егоров

МОДЕРНИЗАЦИЯ КАК СПОСОБ ПРОДЛЕНИЯ СРОКА СЛУЖБЫ И ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ СУЩЕСТВУЮЩИХ СУДОВ 46

А.О. Канифольский

АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ФОРМЫ БЫСТРОХОДНЫХ ОДНОКОРПУСНЫХ ВОДОИЗМЕЩАЮЩИХ СУДОВ (БОВС) 62

ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

А.М. Ясиновский

ГРЕЙФЕРЫ И КАНАТНО-БЛОЧНЫЕ СИСТЕМЫ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ 69

Н.Ф. Зубко, М.Я. Постан, Т.Е. Корниец

ПРОБЛЕМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ПОРТОВЫХ ПЕРЕГРУЗОЧНЫХ КОМПЛЕКСОВ 81

ВОДНЫЕ ПУТИ И ПОРТЫ

Е.Ю.Федорова

ДАВЛЕНИЕ ВОЛН НА ПОДВОДНЫЙ ТРУБОПРОВОД, ЛЕЖАЩИЙ НА ГРУНТОВОМ ОСНОВАНИИ 90

А.В. Гришин ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ТОНКОЙ ПОДПОРНОЙ СТЕНКИ С ГРУНТОВОЙ СРЕДОЙ ПРИ ДИНАМИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ	97
И. Г. Бугаева СОВМЕСТНЫЙ УПРУГОВЯЗКОПЛАСТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ УГОЛКОВОЙ КОНСТРУКЦИИ И ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩЕГО С НЕЙ ГРУНТА	114
В.Т.Бугаев, А.В.Катана, И.Н.Мироненко МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОГРУЖЕНИЯ СВАЙ С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРООСМОСА	119
М.П. Дубровский, М.Б. Пойзнер, В.Н. Петросян СОВРЕМЕННЫЕ КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ КАК ОСНОВА РАЗВИТИЯ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРИЧАЛЬНОГО ФРОНТА УКРАИНЫ	126
Н.В. Олейник, А.Н. Шумило ОЦЕНКА ИСХОДНОЙ ПРОЧНОСТИ ДЕТАЛЕЙ, РАЗРУШИВШИХСЯ ПРИ ЦИКЛИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ	134

УПРАВЛЕНИЕ МОРСКИМ ТРАНСПОРТОМ

А.И. Лапкин ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ФЛОТА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫМИ РЕЙСАМИ	141
И.В. Морозова ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ В УКРАИНЕ СУДОХОДНЫХ КОМПАНИЙ В ФОРМЕ КОММАНДИТНОГО ОБЩЕСТВА	147
А.Г. Шibaев ТЕОРИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ ДИСКРЕТНЫХ ПРОЦЕССОВ В ПРОЕКТЕ МОРСКИХ ПЕРЕВОЗОК ГРУЗОВ	157
Г.С. Махуренко, О.Н. Степанов НОВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ФОРМЫ ВНЕШНЕЭКОНОМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ УКРАИНЫ	169
И. В. Савельева НОВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ФОРМЫ ВНЕШНЕЭКОНОМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ УКРАИНЫ	176

И. В. Боделан

К ПРОБЛЕМЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОРТОВОГО ЛОГИСТИЧЕСКОГО ДИСТРИБУТИВНОГО ЦЕНТРА 184

СУДОВЫЕ МАШИНЫ И МЕХАНИЗМЫ

В.Г.Ивановский, Р.А.Варбанец

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ В ЭКСПЛУАТАЦИИ 192

S.N.Radimov , Nicham Boukili

MATHEMATICS MODEL OF FREQUENCY-CONTROLLED AC DRIVES OF HOISTING-TRANSPORT MECHANISMS BASED ON VSI WITH PWM 210

АНАЛИТИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Н.В.Витюк

АНАЛИЗ СВЯЗИ «СТРУКТУРА – СВОЙСТВО (АКТИВНОСТЬ)»- НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ 220

ИСТОРИЯ ОГМУ

Н.И.Михайлуца

1938 ГОД.

“ВОЕННО-ОФИЦЕРСКАЯ ПОВСТАНЧЕСКАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ” В СТЕНАХ ОИИВТА

НА МАТЕРИАЛАХ АРХИВА УСБУ В ОДЕССКОЙ ОБЛАСТИ И

“ОДЕССКОГО МАРТИРОЛОГА” 232

Наукове видання

ВІСНИК

ОДЕСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО МОРСЬКОГО УНІВЕРСИТЕТУ

Збірник наукових праць

*Українською, російською
та англійською мовами*

Випуск 6

*Свідоцтво про державну реєстрацію:
серія КВ № 2783
від 25. 07. 1997 р.*

**Комп'ютерну верстку та розробку оригінал-макету збірника
було здійснено на ІОЦ ОДМУ
Т.Д. Панченко, В.М. Савченко**

**Підписано до друку з оригінал-макету 25.06.01. Формат 70x108 1/16.
Папір офсетний. Ум.-друк. арк. 21,0.
Тираж 100. Замовлення № 949.**

**Адреса редакційної колегії та Видавництва ОДМУ:
65029, м. Одеса, вул. Мечнікова, 34, тел. 23-35-28, 739-55-53**