

УДК 621.419.017

**А.В. КРИЖНИЙ**, д-р техн. наук (Наук. центр зв'язку та інформатизації ВІТІ НТУУ «КПІ», м. Київ),  
**С.В. БУГАЄВ**, канд. техн. наук (Одеський нац. морський ун-т),  
**В.М. СЕМЕНЕНКО**, канд. техн. наук (Нац. ун-т оборони України імені Івана Черняхівського, м. Київ)

## КРУГОВА ПРОДУВКА МОДЕЛІ ПІДВОДНОЇ ЧАСТИНИ БТР-ЗУ В АЕРОДИНАМІЧНІЙ ТРУБІ

Наведено основні результати експериментальних досліджень величин сил і моментів, що діють на занурену частину легкоброньованих машин, які плавають, у разі їхнього руху в потоці.

Приведены основные результаты экспериментальных исследований величин сил и моментов, действующих на погруженную часть плавающих легкобронированных машин при их движении в потоке.

Рух по воді легко броньованих машин (ЛБМП), що плавають, найчастіше здійснюється впоперек русла ріки, а при експлуатації на великих водоймах та у прибережних зонах морів — з води до берега. Розглянуті об'єкти за своїми ТТХ призначено для самостійного подолання внутрішніх водоймищ змінної глибини, а також прибережної зони морів із відстанню від берега до 20 км. Швидкість їхнього руху може становити до 2 м/с [1].

Практично в кожному разі на занурену частину (ЗЧ) ЛБМП буде діяти сила вітру ( $R_w$ ) й сила, яку викликає течією води у водоймі ( $V_w$ ), (вона виникає в зв'язку з перепадом висот русла ріки, стійно-нагінним впливом вітру (СН) й коливаннями атмосферного тиску). Напрямок  $V_w$  відрізняється від діаметральної площини машини. Найбільш сильні СН явища спостерігаються в прибережних мілководних районах морів та озер, у лиманах і затоках, на гирлових надмор'ях, у дельтах рік, у частинах водоймищ, що близькі до греблі, тобто в районах можливої експлуатації ЛБМП [2].

Взаємодіючи зі ЗЧ ЛБМП, потік води викликає виникнення сили й моменту гідродинамічної природи, які приводять до зносу машини та її розворот навколо центра ваги (рис. 1).

Залежно від величини сили течії, курсу, який обрано машиною щодо потоку, й ефективності роботи рушійно-рульового комплек-

су, гідродинамічна сила й момент, який викликано нею, можуть істотно ускладнити подолання водойми, а за несприятливих випадків можуть навіть привести й до повної втрати керованості ЛБМП. Вплив косоного обтікання потоком води ЗЧ ЛБМП подовжує час подолання водної перешкоди, а в разі удару ходової частини об підводну перешкоду, для ЛБМП із невеликим надводним бортом, може привести до її затоплення або перекидання (рис. 2). Вивчення величин сил і моментів, що діють на ЗЧ ЛБМП, викладено в цій роботі.

**Мета й задача дослідження** — визначення коефіцієнтів поздовжнього ( $C_x$ ) і поперечного ( $C_y$ ) опору ЗЧ ЛБМП БТР-ЗВ, а також коефіцієнта виникаючого моменту щодо верти-

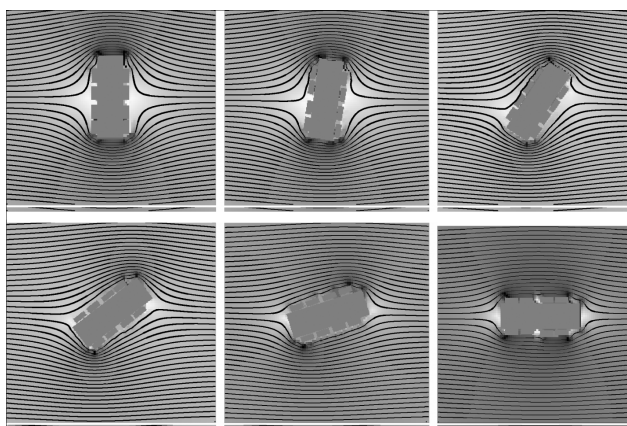


Рис. 1. Чисельне моделювання обтікання корпусу ЛБМП (у разі його положення щодо потоку від 90 до 0° і розвороту в бік правого борту)

© А.В. КРИЖНИЙ, С.В. БУГАЄВ, В.М. СЕМЕНЕНКО, 2014



Рис. 2. Положення ЛБПМ на плаву: а – Patria AMV; б – БТР-4

кальної осі, яка проходить через центр ваги ( $C_m$ ) машини.

Задача, яку поставлено, досягалася рішенням наступних наукових завдань:

- виготовлення моделі ЗЧ ЛБПМ БТР-3В;
- проведення дослідження з визначення впливу швидкості потоку на величину коефіцієнтів поздовжньої ( $C_x$ ) і поперечної ( $C_y$ ) сил впливу на модель і моменту щодо вертикальної осі ( $C_{mz}$ ) у разі кругової продувки;
- аналіз результатів дослідів.

**Основна частина.** Дослідження проводилися в аеродинамічній лабораторії Одеського національного морського університету (ОНМУ) під керівництвом і при особистій участі авторів.

Як об'єкт досліджень приймалася модель дубльованої ЗЧ ЛБПМ БТР-3В [3]. Модель була виконана в масштабі 1:15. Корпус моделі й колеса виконувалися з щільного пінопласту, який покрито декількома шарами суміші парафіну й воску з наступним шліфуванням.

Модель, яку досліджувано, кріпили за допомогою державки до тензOMETричного динамометра кругових продувок (рис. 3).

У якості вимірювальних приладів застосовувалися мікроманометри типу ММН-240. Продувка в аеродинамічній трубі здійснювалася за стандартною методикою, яку прийнято в ОНМУ для кругових продувок об'єктів, що плавають [4, 6], у разі положення моделі щодо потоку, якій набігає, для наступних кутів: 0, 15, 20, 45, 60, 75, 90, 105, 120, 130, 150, 160, 170, 180°.

У ході експерименту визначалися значення коефіцієнтів  $C_{x\alpha}$ ,  $C_{y\alpha}$  і  $C_{mz\alpha}$ . Вивчення взаємодії об'єкта, що досліджувався, з потоком повітря здійснювали за схемою експерименту з одним чинником. Кількість дослідів для кожного кута встановлення моделі визначали виникненням ефекту «автомодельного обтікання» [6].

Швидкість потоку, що набігає, представляли у вигляді безрозмірної величини на підставі рівняння Рейнольдса:

$$Re = vL/\nu, \quad (1)$$

де  $v$  – швидкість потоку;  $L$  – лінійний розмір об'єкту дослідження;  $\nu$  – в'язкість.

Коефіцієнти  $C_x$ ,  $C_y$  й  $C_m$  визначали для кутів встановлення ( $\alpha$ ) з рівнянь роботи [6]:

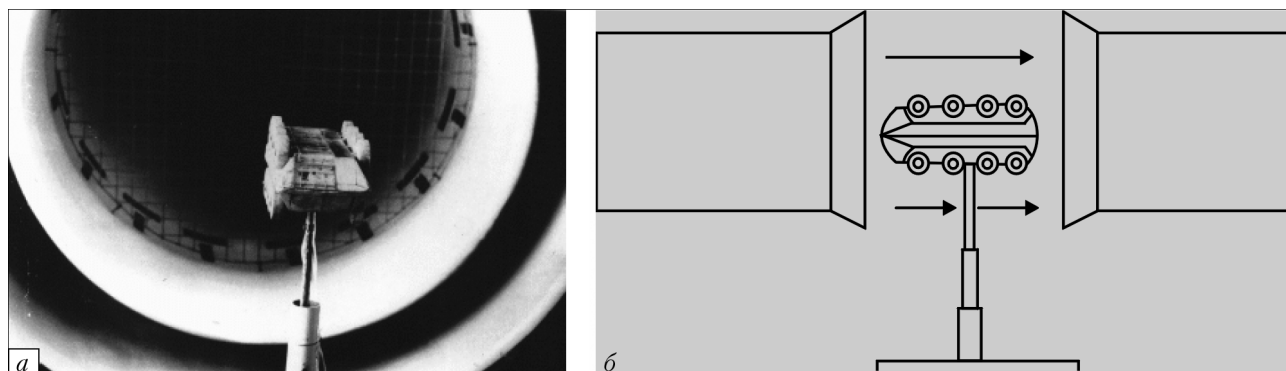


Рис. 3. Модель ЛБПМ в аеродинамічній трубі: а – фото; б – схема

## Результати дослідів кругової продувки моделі підводної частини БТР-3У

| $R_c$                                           | $C_{xa}$ | $C_{ya}$ | $C_{ma}$ | $R_c$                                           | $C_{xa}$ | $C_{ya}$ | $C_{ma}$ |
|-------------------------------------------------|----------|----------|----------|-------------------------------------------------|----------|----------|----------|
| Кут моделі $\alpha = 0^\circ$ відносно потоку   |          |          |          | Кут моделі $\alpha = 15^\circ$ відносно потоку  |          |          |          |
| 17,4                                            | 0,9411   | 0        | 0        | 14,913                                          | 0,674    | 0,329    | -0,0484  |
| 18,437                                          | 0,933    | 0        | 0        | 15,770                                          | 0,673    | 0,333    | -0,0489  |
| 19,5                                            | 0,934    | 0        | 0        | 18,166                                          | 0,680    | 0,332    | -0,0485  |
| 20,199                                          | 0,933    | 0        | 0        | 20,203                                          | -0,6851  | 0,333    | -0,053   |
| Кут моделі $\alpha = 20^\circ$ відносно потоку  |          |          |          | Кут моделі $\alpha = 30^\circ$ відносно потоку  |          |          |          |
| 14,016                                          | 0,803    | 0,436    | -0,111   | 13,218                                          | 0,685    | 0,765    | -0,091   |
| 15,244                                          | 0,817    | 0,454    | -0,112   | 14,094                                          | 0,676    | 0,770    | -0,0891  |
| 15,784                                          | 0,827    | 0,454    | -0,108   | 15,158                                          | 0,684    | 0,765    | -0,0883  |
| 17,297                                          | 0,845    | 0,467    | -0,105   | 15,625                                          | 0,694    | 0,767    | -0,0884  |
| Кут моделі $\alpha = 45^\circ$ відносно потоку  |          |          |          | Кут моделі $\alpha = 60^\circ$ відносно потоку  |          |          |          |
| 12,302                                          | 0,814    | 0,867    | -0,091   | 12,209                                          | 0,514    | 1,043    | -0,075   |
| 13,511                                          | 0,816    | 0,866    | -0,089   | 12,973                                          | 0,524    | 1,009    | -0,076   |
| 14,539                                          | 0,812    | 0,842    | -0,0860  | 13,694                                          | 0,533    | 0,990    | -0,074   |
| 15,343                                          | 0,818    | 0,852    | -0,0861  | 14,546                                          | 0,518    | 0,958    | -0,0728  |
| Кут моделі $\alpha = 75^\circ$ відносно потоку  |          |          |          | Кут моделі $\alpha = 90^\circ$ відносно потоку  |          |          |          |
| 12,909                                          | 0,140    | 1,010    | -0,0509  | 12,757                                          | -0,229   | 0,973    | -0,0141  |
| 13,369                                          | 0,162    | 1,019    | -0,0514  | 13,308                                          | -0,229   | 0,971    | -0,0149  |
| 14,496                                          | 0,174    | 0,965    | -0,0497  | 14,677                                          | -0,226   | 0,931    | -0,0155  |
| Кут моделі $\alpha = 105^\circ$ відносно потоку |          |          |          | Кут моделі $\alpha = 120^\circ$ відносно потоку |          |          |          |
| 10,516                                          | -0,595   | 0,972    | 0,0668   | 10,154                                          | -0,896   | 0,907    | 0,1227   |
| 12,296                                          | -0,625   | 1,018    | 0,0690   | 12,675                                          | -0,882   | 0,962    | 0,1263   |
| 13,139                                          | -0,593   | 1,002    | 0,0668   | 13,936                                          | -0,867   | 0,962    | 0,1231   |
| 14,758                                          | -0,642   | 0,924    | 0,0560   | 14,852                                          | -0,873   | 0,940    | 0,1216   |
| Кут моделі $\alpha = 130^\circ$ відносно потоку |          |          |          | Кут моделі $\alpha = 140^\circ$ відносно потоку |          |          |          |
| 10,829                                          | -1,110   | 0,802    | 0,1325   | 15,770                                          | 14,919   | -1,176   | 0,752    |
| 12,279                                          | -1,126   | 0,879    | 0,1361   | 16,232                                          | 15,701   | -1,201   | 0,743    |
| 14,009                                          | -1,102   | 0,835    | 0,1343   | 17,217                                          | 16,152   | -1,214   | 0,747    |
| 15,777                                          | -1,104   | 0,823    | 0,1349   | 18,015                                          | 17,227   | -1,241   | 0,725    |
| Кут моделі $\alpha = 150^\circ$ відносно потоку |          |          |          | Кут моделі $\alpha = 160^\circ$ відносно потоку |          |          |          |
| 13,924                                          | -1,096   | 0,779    | 0,1617   | 14,179                                          | -0,976   | 0,492    | 0,1166   |
| 14,919                                          | -1,0542  | 0,783    | 0,1577   | 15,770                                          | -0,984   | 0,491    | 0,1159   |
| 15,777                                          | -1,0693  | 0,780    | 0,1549   | 17,281                                          | -1,016   | 0,507    | 0,1145   |
| 16,226                                          | -1,045   | 0,777    | 0,1544   | 18,025                                          | -1,050   | 0,517    | 0,1142   |
| Кут моделі $\alpha = 170^\circ$ відносно потоку |          |          |          | Кут моделі $\alpha = 180^\circ$ відносно потоку |          |          |          |
| 13,744                                          | -0,805   | 0,208    | 0,0616   | 17,631                                          | -0,952   | -0,006   | -0,0040  |
| 14,166                                          | -0,859   | 0,229    | 0,0662   | 18,548                                          | -0,946   | -0,006   | -0,0036  |
| 15,831                                          | -0,855   | 0,238    | 0,0668   | 20,212                                          | -0,934   | -0,005   | -0,0031  |
| 18,017                                          | -0,802   | 0,219    | 0,0631   | 21,361                                          | -0,928   | -0,004   | -0,0027  |

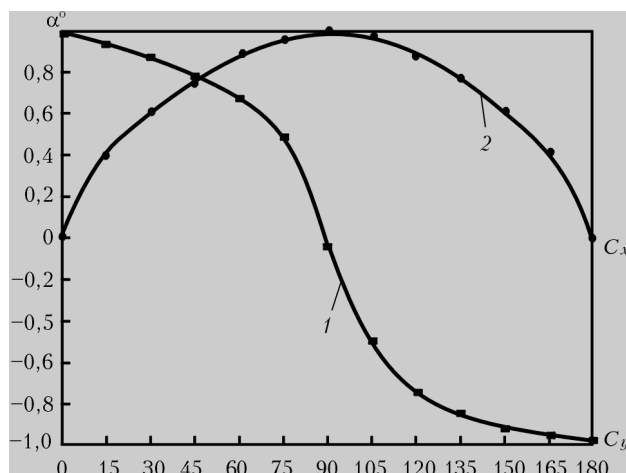


Рис. 4. Результати експерименту: 1 –  $C_x$ ; 2 –  $C_y$

$$F_{x\alpha} = C_{x\alpha} \rho_w 0,5v^2 B; \quad (2)$$

$$F_{y\alpha} = C_{y\alpha} \rho_w 0,5v^2 L; \quad (3)$$

$$M_{z\alpha} = C_{mz\alpha} \rho_w 0,5v^2 L h, \quad (4)$$

де  $F_{x\alpha}$ ,  $F_{y\alpha}$ ,  $M_{z\alpha}$  – величини сил і моменту, що діють на модель;  $C_{x\alpha}$ ,  $C_{y\alpha}$ ,  $C_{mz\alpha}$  – безрозмірні коефіцієнти сил і моменту;  $\rho_w$  – щільність середовища;  $h$  – осад;  $\alpha$  – індекс, що відповідає куту установки моделі щодо потоку.

З формул (2, 3, 4) значення  $C_{x\alpha}$ ,  $C_{y\alpha}$  і  $C_{mz\alpha}$  визначалися відповідно:

$$C_{x\alpha} = F_{x\alpha} / \rho_w 0,5v^2; \quad (5)$$

$$C_{y\alpha} = F_{y\alpha} / \rho_w 0,5v^2 L; \quad (6)$$

$$C_{mz\alpha} = M_{z\alpha} / \rho_w 0,5v^2 L h. \quad (7)$$

Обробку результатів експериментів, які проведено, здійснювали за типовою програмою, що застосовується в аеродинамічній лабораторії ОНМУ [5]. Для виключення систематичних помилок, які викликано зовнішніми умовами (зміню температур, вологості й тиску повітря), досліди було рандомізовано. Під час організації досліджень складався план проведення експериментів, у кожній точці якого для зменшення погрішності проводилися не менш 4 дослідів з їхньою наступною обробкою.

Результати, які отримано, представлено в таблиці й на рис. 4.

## Висновки

Дослідження, які проведено, дозволили визначити значення коефіцієнтів поздовжньої  $C_{x\alpha}$  і  $C_{y\alpha}$  поперечної сил, а також моменту  $C_{mz\alpha}$ , що виникає у вертикальній площині й діє на ЛБМП під час її руху в потоці.

Значення  $C_{x\alpha}$ ,  $C_{y\alpha}$  і  $C_{mz\alpha}$ , що отримано, може бути використано у разі розрахунку відповідних сил і моменту, що діють на геометрично подібні ЛБМП (БТР-3Е, БТР-3Е1, БТР-3м2, БТР-3ДО, БТР-70, БТР-80, БТР-80А, БТР-82, БТР-82А, БТР-82, і ін.).

Результати може бути використано як вихідна інформація для розробки математичних моделей, що описують динаміку руху подібної ЛБМП у воді.

Результати дослідження може бути використано в разі розрахунку пропульсивних якостей рушійно-рульового комплексу ЛБМП.

Дані може бути використано для оцінки безпеки експлуатації машин даного класу на водоймі в умовах змінної швидкості течії (повінь, руйнування дамб і гребель).

## Список літератури

1. Крижний А.В. Розвиток і перспективи виробництва в Україні плавних бойових машин / А.В. Крижний, С.В. Бугаєв // Наука і оборона. – 2005. – № 4. – С. 53–56.
2. Судольский А.С. Динамические явления в водоемах / А.С. Судольский. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 263 с.
3. *Перспекты новых образцов БТТ разработки ХКБМ им. Морозова.* – Харьков: ХКБМ, 1999.
4. *Трещевский В.Н.* Аэродинамический эксперимент в судостроении / В.Н. Трещевский, Л.Д. Волков, А.И. Короткин. – Л.: Судостроение, 1976. – 145 с.
5. *Беляев Г.В.* Цифровая система «Поток» для исследования моделей судов / Г.В. Беляев, Г.И. Качулин, Ю.Ф. Мотивенко. – Л.: Судостроение, 1970. – 114 с.
6. *Соляник П.Н.* Экспериментальная аэродинамика / П.Н. Соляник, М.Л. Сургайло, В.В. Чмовж. – Харьков: ХАИ, 2007. – 92 с.