

## Прогнозиране движението на автономни автоматични свободно потъващи и изплаващи носители на океанографска апаратура

Атанас В. Палазов, Траян К. Траянов

Институт по океанология, БАН (Варна)

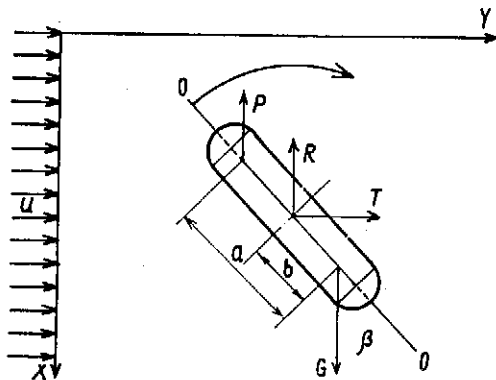
Традиционният метод за изследване на хидрофизичните параметри на морската среда, чрез спускане с помощта на кабел трос на измерващ прибор, се характеризира със значителен разход на корабно време за извършване на изследванията. По тази причина в последно време добива популярност друг метод на изследване с т.нар. автономни автоматични носители на океанографска апаратура (ААН). При него измервателният прибор е интегриран в ААН, който от своя страна не е свързан с изследователския кораб и потъва свободно до зададена дълбочина, след което автоматично изхвърля баласт и изплава на повърхността. Преимуществото на метода се реализира най-добре, когато се прави серия от измервания в различни точки с няколко ААН. След спускането на първия ААН, корабът без да изчаква неговото изплаване се придвижва до следващата точка на измерване и спуска следващия ААН и т.н. до спускане на последния, след което корабът се връща и прибира на борда всички изплавали ААН (Траянов, 1983).

Очевидно, икономия на корабно време може да се постигне само, ако изплавалите ААН бъдат своевременно открити и прибрани на борда. Поради наличието на течения във водната среда обаче, те не изплават в точката, в която са били спуснати и трябва да бъдат търсени и открити

понякога на значително разстояние от нея. Ако времето за търсене стане съизмеримо с времето за потъване и изплаване на ААН, методът губи своите преимущества.

По тази причина от особено значение е да се прогнозира вероятната точка на изплаване на ААН, за да може корабът предварително да се насочи към нея и да се съкрати до минимум времето за търсене.

Известни са (Агеев и др., 1981; Контарь, 1984) опростени формули за изчисляване отклонението при свободно потъване и изплаване на обекти, но те не отчитат всички фази от движението на ААН и могат да дадат само приблизителна



Фиг.1. Схема на силите, действащи върху ААН при неговото движение

оценка на отклонението от точката на спускане. За получаване на по-прецизни оценки е необходимо движението на ААН да бъде разделено на четири фази: потъване, изхвърляне на баласта, изплаване и дрейф, като за всяка фаза се изследва траекторията на носителя.

Движението на ААН при потъването се извършва под въздействието на силите, показани на фиг.1, където:  $G$  — силата на теглото;  $P$  — подезната сила;  $R$  — хидродинамичното съпротивление;  $T$  — отклоняващата сила;  $X$  — координатната ос на вертикалното преместване;  $Y$  — координатната ос на хоризонталното преместване.

Тъй като ААН има формата на ротационно тяло с една ос на симетрия  $O - O$  и освен това поради характера на морските течения може да се приеме, че движението се извършва в една равнина, то движението му се описва от следните диференциални уравнения:

$$(1.1) G - P - R - M\ddot{x} = 0$$

$$(1.2) T - M\ddot{y} = 0$$

$$(1.3) P a \sin \beta + R_x b \sin \beta - T_x b \cos \beta - J_0 \beta = 0,$$

където  $M$  е масата на ААН, включително и присъединената маса вода;  $a$  — разстоянието между центъра на тежестта и приложната точка на остатъчната плаваемост;  $b$  — разстоянието между геометричния център на ААН и центъра на тежестта;  $\beta$  — ъгълът на наклона на ААН спрямо вертикала;  $J_0$  — масовият инерционен момент на ААН.

Решаването на равнинна задача при описване движението на потъващи и изплаващи обекти е възприето в океанографската практика (Семенов - Тянь-Шанский, 1960; Агеев и др., 1981; Контарь, 1984), като се счита, че обектът се движи в равнината на вектора на подводното течение.

За опростяване решаването на диференциалните уравнения на движението могат да бъдат направени някои предположения, които не влияят съществено върху точността на решението им.

На първо място може да се приеме, че ъгълът на наклона  $\beta$  е приблизително равен на нула. Поради голямото рамо на статична устойчивост на ААН, това предположение е напълно оправдано и може да

бъде нарушено само в началния стадий на движението, и то за кратко време, което няма да окаже съществено влияние върху решението. Наблюденията, направени от авторите върху поведението на ААН при потъване и изплаване в реални условия, потвърждават приложимостта на това предположение. В такъв случай отпада нуждата от решаване на уравнение (1.3) и се опростява значително решаването на уравнения (1.1) и (1.2).

При нулев ъгъл на наклона  $S$  хидродинамичното съпротивление остава функция само на скоростта на движение

$$(2) R = C_x V_x^2,$$

където  $C_x$  е коефициентът на съпротивление по оста на симетрия  $O - O$ ;  $V_x$  — скоростта на вертикалното движение (потъване) на ААН.

Същото се отнася и за отклоняваща сила, което се определя по формулата

$$(3) T = C_Y (U - V_Y)^2,$$

където  $C_Y$  е коефициентът на съпротивление, напречно на оста на симетрия  $O - O$ ;  $U$  — скоростта на отклоняващото течение;  $V_Y$  — скоростта на хоризонталното движение (дрейфа) на ААН.

По технологични съображения (Траянов, 1985) оптималната скорост на потъване на ААН трябва да бъде в рамките на 0,8 — 1,2 m/s. Хидродинамичните изпитания на ААН показват, че в обхвата на скорости от 0,5 до 2,0 m/s коефициентите  $C_x$  и  $C_Y$  се изменят малко и могат да се приемат за постоянни (Траянов, 1985).

Необходимо е да се направи също предположение относно характера на отклоняващите течения. В някои специфични случаи се наблюдават две течения — повърхностно и придънно в противоположни посоки. В други случаи течението е в една посока, но с променлива скорост в дълбочина. В тези случаи решението на уравнението може да се получи само по числен път. За практически цели обаче е удобно да се използва аналитичното решение, което е възможно, ако се приеме предположението, че отклоняващото течение е с постоянна скорост в дълбочина по целия път на движение на ААН. В този случай се използва параметърът  $\bar{U}$  — средна скорост на отклоняващото течение и уравнение (3) добива вида

$$(4) T = C_Y (\bar{U} - V_Y)^2.$$

Средната скорост на отклоняващото течение е параметър, който може да бъде определен експериментално.

За решаване на диференциалните уравнения на движението са необходими начални и гранични условия. За удобство при пресмятанията се приема начално условие  $t = 0$ , т.е. времето се отчита от момента на спускане на ААН във водата.

В случая може да се приеме, че ААН се спуска от борда на кораб и координатната система, в която се описва движението му, има за начало точката на спускане, като оста  $X$  е в направление към дъното, а оста  $Y$  — в направление на отклоняващото течение, т.е.  $X_0 = 0$  и  $Y_0 = 0$ . В момента на спускането скоростта на ААН се приема за нула, т.е.  $V_X = 0$  и  $V_Y = 0$ .

По този начин задачата се решава в локална координатна система и локално време и трябва да се направят пресмятания за привързване към глобалните координати и време.

При така направените предположения уравненията на движението на ААН при потъването се решават аналитично, като се получават следните решения:

$$(5.1) X = (1/B) \ln[(e^{\sqrt{ABt}} + e^{-\sqrt{ABt}})/2],$$

$$(5.2) Y = \bar{U}t - (1/C) \ln(C\bar{U}t + 1),$$

където параметрите  $A$ ,  $B$  и  $C$  са равни на

$$(6.1) A = (G - P)/M,$$

$$(6.2) B = C_X/M,$$

$$(6.3) C = C_Y/M$$

и  $t$  е времето на движение.

Решенията (5) позволяват във всеки момент от време при потъването да се определи положението на ААН. Те позволяват също да бъдат решени и следните задачи:

1) да се определи времето за достигане на зададена дълбочина.

2) да се определи средната скорост на отклоняващото течение по полученото отклонение за известно време.

Приложимостта на получените решения бе експериментално потвърдена по време на експедиционни изследвания с НИК „Академик“.

Следващата фаза от движението на ААН е изхвърлянето на баласта. Тя изисква определено време, през което може да се приеме, че движението на ААН във вер-

тикална посока е спряло, а в хоризонтална посока той се движи със средната скорост на отклоняващото течение, т.е.  $X$  остава постоянно, равно на достигнатото по формула (5.1), а  $Y$  се определя по формула (5.2), като се отчита времето, необходимо за изхвърляне на баласта. Времето за изхвърляне на баласта според Троянов (1985) се движи между 2 и 8 s в зависимост от техническите характеристики на баластното устройство и може да се изчисли с достатъчна точност. По този начин движението на ААН в процеса на изхвърляне на баласта е напълно определено.

След изхвърлянето на баласта ААН започва да изплава. Уравненията на движението при фазата на изплаване, съответно и техните решения, са идентични с тези при потъването, поради което няма да бъдат разглеждани повторно.

Изплавайки на повърхността ААН продължава движението си във фазата на дрейф със скоростта на повърхностното течение. Ако се приеме, че тази скорост е равна на средната скорост на отклоняващото течение, за описание на движението може да се използва формула (5.2) и да се установи  $X = 0$ .

По този начин движението на ААН по време на целия процес на измерване при максимална дълбочина на потапяне  $D_{\max}$  се описва от следните уравнения:

(7.1) потъване

$$X = (1/B) \ln [ (e^{\sqrt{ABt}} + e^{-\sqrt{ABt}}) / 2 ],$$

изхвърляне на баласт

$$X = D_{\max}$$

изплаване

$$X = D_{\max} - (1/B) \ln [ (e^{\sqrt{ABt}} + e^{-\sqrt{ABt}}) / 2 ],$$

дрейф

$$X = 0$$

$$(7.2) Y = \bar{U}t - (1/C) \ln(C\bar{U}t + 1)$$

като критериите за промяна на фазите на движение са достигането на дълбочина  $D_{\max}$  и дълбочина нула.

Важен параметър при работата с ААН е времето за извършване на измерването  $t_{\text{изм}}$ , т.е. времето от спускането до изплаването на повърхността. То се определя като сума от времената

$$(8) t_{\text{изм}} = t_{\text{пот}} + t_{\text{дб}} + t_{\text{изпл}}$$

където  $t_{\text{пот}}$  е времето за потъване до дълбочина  $D_{\text{max}}$ ;  $t_{\text{иб}}$  — време за изхвърляне на баласта;  $t_{\text{изпл}}$  — времето за изплаване от дълбочина  $D_{\text{max}}$  до повърхността.

От своя страна времената за потъване и изплаване могат да се определят по следните формули, получени от формула (5.1):

$$(9.1) t_{\text{пот}} = (1/\sqrt{AB}) \ln (e^{BD_{\text{max}}} + \sqrt{e^{2BD_{\text{max}}} - 1})$$

$$(9.2) t_{\text{пот}} = (1/\sqrt{AB}) \ln (e^{BD_{\text{max}}} + \sqrt{e^{2BD_{\text{max}}} - 1})$$

Двете формули са идентични, но е възможно да има разлика в параметрите  $A$  и  $B$  при потъване и изплаване, поради което следва да се използват разделно. Определянето на времето за изхвърляне на баласта бе вече дискутирано.

Следва да се обърне внимание на възможността за решаване на обратната задача, т.е. при известно отклонение от точката на спускане за съответното време, да се определи средната скорост на отклоняващото течение. Тази възможност представлява метод за определяне на средната скорост на теченията.

Въз основа на получените решения на уравненията на движение на ААН (7.1, 7.2) е разработена програма за определяне положението на носителя в процеса на измерване. С помощта на програмата може да се определя положението на до десет носителя едновременно, като се въвеждат следните входни данни за всеки носител:

- характеристики на носителя при потъване и изплаване:

$G, P, M, C_x, C_y, t_{\text{иб}}$ ;

- средна скорост и посока на отклоняващото течение;

-  $D_{\text{max}}$  и координатите на точката на спускане на носителя;

- стъпка по време за изчисляване положението.

В резултат от работата на програмата се получават текущите координати на всеки носител за всяка стъпка по време, координатите на предполагаемата точка на изплаване и очакваното време на изплаване на носителите. Предвидена е възможност за графична визуализация на резултатите от изчисляването.

Програмата е написана на езика TURBO PASCAL и е предназначена за работа с компютри, съвместими с IBM/PC XT/AT под управлението на операционната система MS-DOS. С нейната помощ могат да бъдат решавани следните задачи:

1. Моделиране поведението на група ААН с цел предсказване на времето и мястото на тяхното изплаване и последващия им дрейф.

2. Симулиране в реално време на движението на група ААН с цел познаване на тяхното положение във всеки момент от време и облекчаване на тяхното откриване.

3. Решаване на обратната задача с цел определяне на средната скорост на отклоняващите течения.

Получените решения на уравнението на движение на ААН и разработената програма за тяхното решаване дават възможност да се облекчи търсенето и откриването на изплавателите носители и по този начин значително да се повиши ефективността от използването на научноизследователските кораби на океанографските изследвания.

## Л и т е р а т у р а

Агеев, М. 1981. Автоматически подводни апарати. Л., Судостроение. 169 с. Контарь, В. 1984. Самовсилващи системи для геолого-геофизических исследований океан. М., Наука, 27 — 29. Траянов, Т. 1983. Относно възможностите за намаляване на корабното време при океанологически разрези. — В: Юбилейна научна сесия на ВНВМУ „Н. Й. Вапцаров“, Варна. Сборник резюмета, 95 — 96. Траянов, Т. 1985. Резултати от хидродинамични изпитания на свободно падащо автоматическо устройство, носещо океанографска апаратура. —

В: Пети национален конгрес по теоретична и приложна механика. Т.2, Варна, 41 — 43. Траянов, Т. 1985. Оценка на продължителността на цикъла потъване - изплаване и на възможното отклонение от мястото на спускане на автономен автоматичен носител на океанографска апаратура. — В: Научна сесия на ВНВМУ „Н. Й. Вапцаров“ (Варна, 14-15.XI.1985). Семенов-Тянь-Шанский, В. В. 1960. Статика и динамика корабля. Л., Судпромгиз.

## Predition of the motion of autonomous automatic free sinking and surfacing carriers of oceanographic instrumentation

*Atanas V. Palazov, Trayan K. Trayanov*

### (Summary)

The advantage of the use of autonomous automatic free sinking and surfacing carriers of oceanographic instrumentation is reduced to the considerable saving of vessel-time for carrying out the research. The utilization of this advantage would be possible only if the surfaced carriers would be discovered in time. this problem becomes much more serious in simultaneous use of several carriers when the vessel is at a considerable distance from them. the predicting of the place of surfacing allows to direct beforehand the vessel to the necessary place and thus to shorten time for discovering.

The movement of the autonomous free sinking and surfacing carrier of oceanographic instrumentation is divided into four phases: sinking, release of balast, surfacing and drifting. The sinking and the surfacing of the carrier is described by ordinary differential equations. The solution of these equations allows to determine the current position of the carrier in the aquatic space.

On the basis of the solutions obtained, a computer program has been developed which allows to simulate the movement of the carrier and to predict its current positions.

*Постъпила на 30.09.1990 г.*