
ПРИКЛАДНА ФІЗИКА І МАТЕМАТИКА

УДК 623.955

ВПЛИВ ГЕРОНТОЛОГІЧНОЇ ЗМІНИ ПОРОХОВОГО ЗАРЯДУ РЕАКТИВНОГО ДВИГУНА ТВЕРДОГО ПАЛИВА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗОВНІШНЬОЇ БАЛІСТИКИ РЕАКТИВНИХ ГЛИБИННИХ БОМБ

О.Б. Анінко¹, д.т.н., проф., П.Д. Гончаренко¹, к.т.н., О.Ю. Остапенко²,
О.О. Больших¹, ад'юнкт

¹Академія ВМС ім. П.С. Нахімова, м. Севастополь

²Озброєння Командування ВМС ЗС України, м. Севастополь

Надано результати аналізу впливу геронтологічних змін порохового заряду РДТП на характеристики зовнішньої балістики РГБ. Отримано залежності висоти і дальності в кінці активної ділянки траєкторії від часу горіння порохового заряду РДТП та кута кидання.

Вступ

З початком використання пороху в древній Європі своє застосування знайшли, так звані, бойові ракети або, по-іншому, реактивні снаряди. Однак застосування вогнепальної зброї в XIV столітті зовсім витиснуло поширення ракет, які використовувались в Китаї та арабських країнах. Це відбулося тому, що в той час вогнепальна зброя мала більшу дальність, потужність та влучність.

У Росії бойові ракети були застосовані російською армією вже в турецьку кампанію 1828 року [1].

Завдяки видатним роботам генерала К.І. Константинова розвиток реактивних снарядів у Росії істотно просунувся в 40 - 50-х роках XIX століття.

У сучасних умовах для обслуговування ближньої зони протичовнової оборони широке поширення одержали реактивні глибинні бомби (РГБ).

Двигун РГБ за своєю конструкцією становить собою реактивний двигун твердого палива (РДТП). Як паливо використовують порохові заряди на основі нітрогліцеринової високомолекулярної сполуки. Відомо [7], що за своєю природою такий порох є хімічно нестійкою сполукою, тому в процесі тривалого зберігання елементи порохових зарядів змінюють свої фізико-хімічні властивості, що у свою чергу приводить до зміни параметрів внутрішньої та зовнішньої балістики.

У зв'язку з цим здається практично важливим визначення змін параметрів зовнішньої балістики, оскільки вони визначають у кінцевому підсумку результат влучення РГБ по цілі.

Визначення мети та завдань наукового дослідження

Визначення залежності висоти і дальності в кінці активної ділянки траєкторії від часу горіння порохового заряду РДТП та кута кидання.

У задачі зовнішньої балістики пасивна ділянка визначається параметрами зовнішньої балістики в кінці активної ділянки у момент припинення горіння порохового заряду РДТП. Тому визначення параметрів зовнішньої балістики в кінці активної ділянки з урахуванням різних факторів дозволяє визначити дальність стрільби з урахуванням цих факторів.

Основні припущення та постановка основної задачі зовнішньої балістики для РГБ

Задачі зовнішньої балістики РГБ розглядаються в постановці основної задачі зовнішньої балістики, при цьому некерований реактивний снаряд, яким є РГБ, під час його руху розглядається як матеріальна точка, що рухається під дією трьох сил:

1. Сила тяги (реактивна сила) РДТП.
2. Сила тяжіння.
3. Сила лобового опору.

При цьому приймаємо такі припущення [1 - 4]:

1. У будь-який момент часу поздовжня вісь РГБ збігається з вектором швидкості.
2. Приймаємо поверхню моря площиною, що проходить через лінію горизонту.
3. Поле сили тяжіння однорідне: $q = \text{const}$.
4. Маса матеріальної точки прирівнюється до маси РГБ.
5. На активній ділянці траєкторії швидкість РГБ постійна.
6. Атмосфера нерухома.
7. Обертання Землі відсутнє.

З урахуванням цих припущень рух РГБ на активній ділянці траєкторії описується наступною системою рівнянь:

$$\dot{V} = \frac{P - X_a}{m} - g_0 \sin q ; \quad (1)$$

$$\dot{q} = - \frac{g_0 \cos q}{V} ; \quad (2)$$

$$V_x = V \cos q ; \quad (3)$$

$$V_y = V \sin q ; \quad (4)$$

$$m = m_0 - \dot{m} t , \quad (5)$$

де \dot{V} – прискорення руху реактивного некерованого снаряда;

P – реактивна сила;

X_a – лобовий опір;

m – маса реактивного некерованого снаряда;

m_0 – початкова (стартова) маса РГБ;

$\dot{m} t$ – маса порохового заряду у визначений момент часу;

g_0 – прискорення вільного падіння;

q – кут вертикального наведення.

Рух снаряда на пасивній ділянці траєкторії описується системою рівнянь для руху звичайного артилерійського снаряда:

$$\dot{V}_x = -CH(Y_g)G(V)V_x; \quad (6)$$

$$\dot{V}_y = -CH(Y_g)G(V)V_y - g_0, \quad (7)$$

де C – балістичний коефіцієнт;

$H(Y_g)$ – піднесення точки стрільби над площиною моря;

$G(V)$ – функція, що описує зміну швидкості з урахуванням опору повітря.

Системи рівнянь (1) – (5) для активної ділянки траєкторії польоту РГБ і (2) – (4), (6), (7) для пасивної ділянки описують рух центра мас РГБ у площині стрільби, перпендикулярній площині моря (рис. 1).

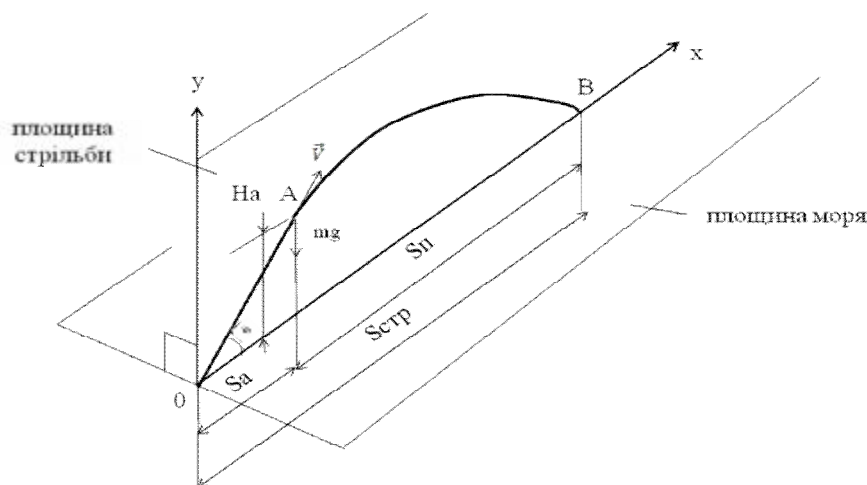


Рис. 1. До визначення параметрів зовнішньої балістики РГБ

Зважаючи на те, що вся траєкторія польоту РГБ розділена на активну та пасивну ділянки, запишемо додаткову умову, що визначає дальність стрільби $S_{стр}$:

$$S_{стр} = S_a + S_n, \quad (8)$$

де S_a та S_n – складові дальності стрільби активної та пасивної ділянок траєкторії, відповідно.

При роздільному розгляданні активної і пасивної ділянок необхідно визначити умови їх сполучення.

Умови сполучення параметрів активної і пасивної ділянок траєкторії

Основними умовами сполучення параметрів зовнішньої балістики є їх рівність як для активної, так і для пасивної ділянок траєкторії в точці з координатою $x = S_a$. Таким чином, балістичні параметри РГБ в кінці активної ділянки дорівнюють балістичним параметрам на початку пасивної складової траєкторії. Цією умовою забезпечується виконання властивості суцільності траєкторії польоту РГБ.

Таким чином, для координати $x = S_a$ можна записати

$$H_a \Big|_{x=S_a} = H_n \Big|_{x=S_a}; \quad (9)$$

$$\dot{V}_a \Big|_{x=S_a} = \dot{V}_n \Big|_{x=S_a}. \quad (10)$$

З урахуванням сформульованої умови сполучення та виходячи із системи рівнянь для пасивної ділянки (2) – (4), (6), (7) слід зазначити, що задача зовнішньої балістики на пасивній ділянці траєкторії розв'язується в постановці основної задачі зовнішньої балістики для звичайного снаряда, стрільба яким виконується з піднесенням точки стрільби над площиною моря H_a відповідно до умови (9). При цьому вектор швидкості снаряда визначається умовою (10).

Функції H_a і S_a від часу горіння порохового заряду РДТП та кута кидання РГБ

При тривалому зберіганні пороху змінюється така властивість, як щільність пороху.

Аналіз [1 - 6] показує, що врахування зміни, викликані геронтологічними факторами, тільки однієї величини не може вважатися достатнім, тому що звичайно змінюються не тільки щільність пороху, але й інші важливі характеристики, такі як швидкість горіння пороху (τ), а також теплота вибухового перетворення – калорійність пороху (Q) і сила пороху (f).

На рис. 2 показані сили, що діють на снаряд при польоті його на активній ділянці.

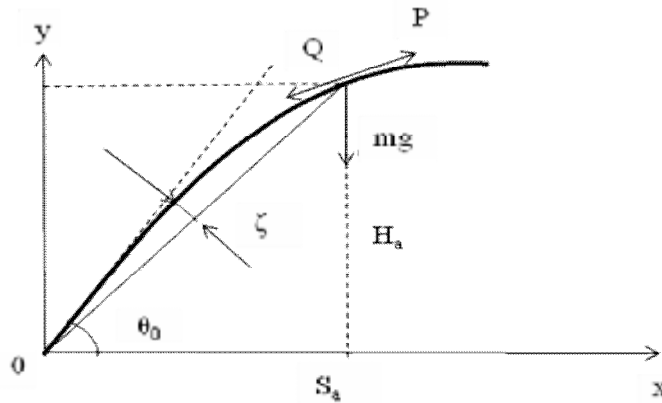


Рис. 2. Політ реактивного снаряда на активній ділянці траєкторії

Зважаючи на те, що дуга реактивного снаряда на активній ділянці траєкторії менше її дистанції ($\zeta \ll S_a$), нехтуємо нею і вважаємо, що $\zeta = 0$.

Для визначення залежності висоти і дальності активної ділянки траєкторії від часу горіння порохового заряду РДТП та кута кидання РГБ скористаємося виразами

$$H_a = \sin q \left[\frac{u_e Q_0 t}{w_t} \int_0^m \ln \frac{1}{1-m} dm - g \sin q \frac{t^2}{2} \right]; \quad (11)$$

$$S_a = \cos q \left[\frac{u_e Q_0 t}{w_t} \int_0^m \ln \frac{1}{1-m} dm - g \sin q \frac{t^2}{2} \right], \quad (12)$$

де μ – доля згорілого порохового заряду;

t – час роботи РДТП;

U_e – ефективна швидкість витікання газів;

Q_0 – вага некерованого реактивного снаряду;

ω_t – вага порохового заряду РДТП.

Як було показано в попередніх дослідженнях [8], у процесі тривалого зберігання змінюється середня щільність порошу через процеси масопереносу та автокаталізу.

У модельній задачі будемо вважати, що при стрільбі реактивним снарядом з кондиційним порохом зарядом (ПЗ) РДТП згорає весь заряд ($\mu = 1$). Для порошу тривалих строків зберігання ефект його виснаження будемо розглядати як неповне згорання ПЗ, тоді для нього $\mu < 1$.

Зважаючи на те, що, як показав аналіз хімічного складу порошу та дослідження зі зниження маси ПЗ протягом його тривалого зберігання, в діапазоні до 30 - 40 років, зниження маси складає 3...7 %, а іноді більше. Тому доцільно розглянути діапазон зміни $\mu = 0,9...1,0$.

У моделі були задані значення $\mu = 1$ для нормальних та $\mu = 0,9...0,95$ для виснажених у процесі тривалого зберігання порохом зарядів РДТП.

На рис. 3 - 5 показані залежності просідання активної ділянки траєкторії реактивного снаряда при різних кутах стрільби і долі згорілого заряду.

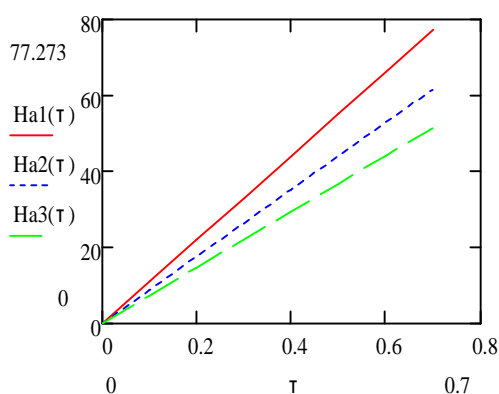


Рис. 3. Залежність просідання активної ділянки траєкторії при $\theta = 45^\circ$, $\mu = 1$, $\mu_1 = 0,95$, $\mu_2 = 0,9$

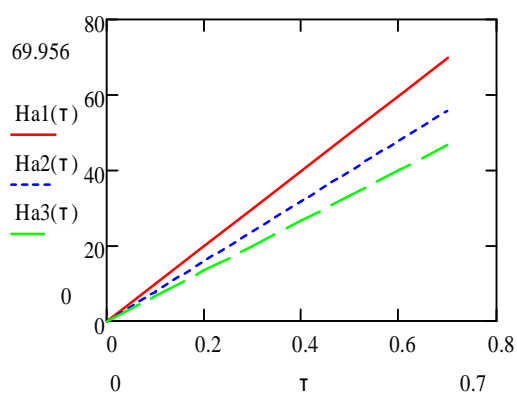


Рис. 4. Залежність просідання активної ділянки траєкторії при $\theta = 40^\circ$, $\mu = 1$, $\mu_1 = 0,95$, $\mu_2 = 0,9$

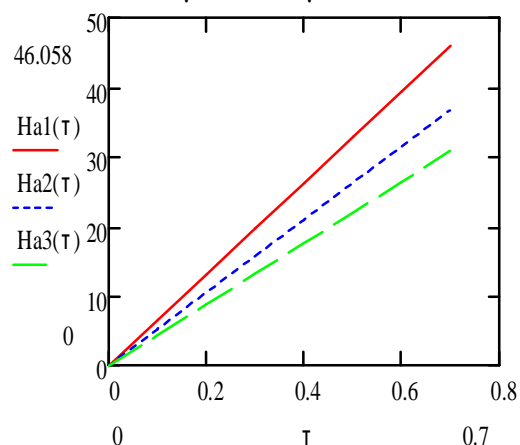


Рис. 5. Залежність просідання активної ділянки траєкторії при $\theta = 25^\circ$, $\mu = 1$, $\mu_1 = 0,95$, $\mu_2 = 0,9$

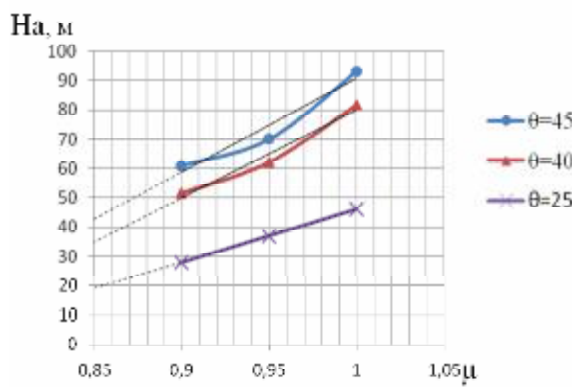


Рис. 6. Залежність зміни висоти траєкторії в кінці активної ділянки траєкторії як функції кута кидання та ступеня виснаження порохом заряду РДТП у процесі зберігання

Отримані результати є основою для виявлення закономірності зміни висоти траєкторії в кінці активної ділянки траєкторії як функції кута кидання та ступеня виснаження порохом заряду РДТП у процесі зберігання, що виражалася через μ (рис. 6).

При цьому криві функції $H_a(\mu)$ для різних q апроксимувалися лінійними функціями, після чого було отримано загальне рівняння у вигляді

$$H_a(m; q) = [(2430,7 \ln(q) - 6014,5) \cdot m - 1681,2 \ln(q) + 4059,8] \cdot 10^{-1} \quad (13)$$

при

$$25^0 \leq q \leq 45^0 \text{ й } 0,85 \leq \mu \leq 1.$$

На основі умови (12) здається можливим оцінити горизонтальну дальність активної ділянки траєкторії РГБ від часу горіння ПЗ РДТП і кута кидання РГБ (рис. 7 - 9).

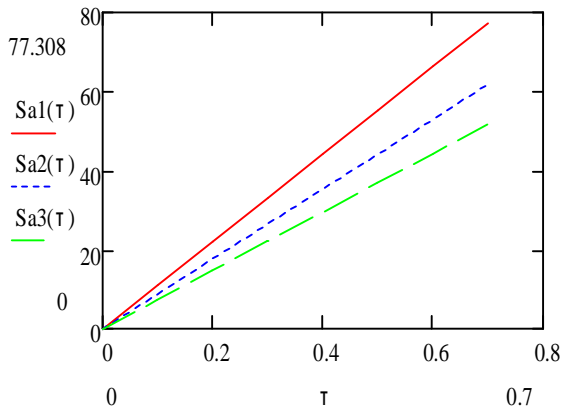


Рис. 7. Залежність горизонтальної дальності активної ділянки траєкторії при $\theta = 45^0$, $\mu = 1, \mu_1 = 0,95, \mu_2 = 0,9$

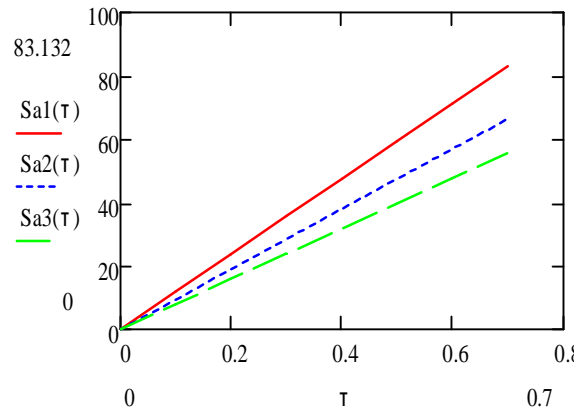


Рис. 8. Залежність горизонтальної дальності активної ділянки траєкторії при $\theta = 40^0$, $\mu = 1, \mu_1 = 0,95, \mu_2 = 0,9$

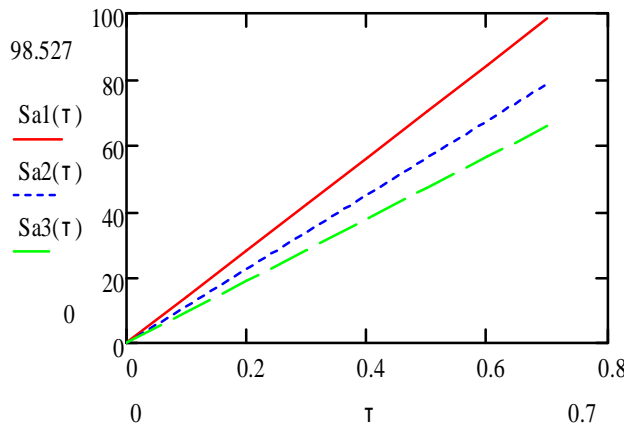


Рис. 9. Залежність горизонтальної дальності активної ділянки траєкторії при $\theta = 25^0$, $\mu = 1, \mu_1 = 0,95, \mu_2 = 0,9$

Отримані зміни горизонтальної дальності активної ділянки траєкторії стали основою для виявлення узагальненої двопараметричної залежності від кута кидання та ступеня виснаження порохового заряду РДТП у процесі зберігання (рис. 10).

При цьому криві функції $S_a(m)$ для різних q апроксимувались лінійними функціями, після чого було отримано загальне рівняння у вигляді

$$S_a(m; q) = [(4428,5 - 43,231q) \cdot m + 27,242q - 2968,6] \cdot 10^{-1} \quad (14)$$

при

$$25^0 \leq q \leq 45^0 \text{ й } 0,85 \leq \mu \leq 1.$$

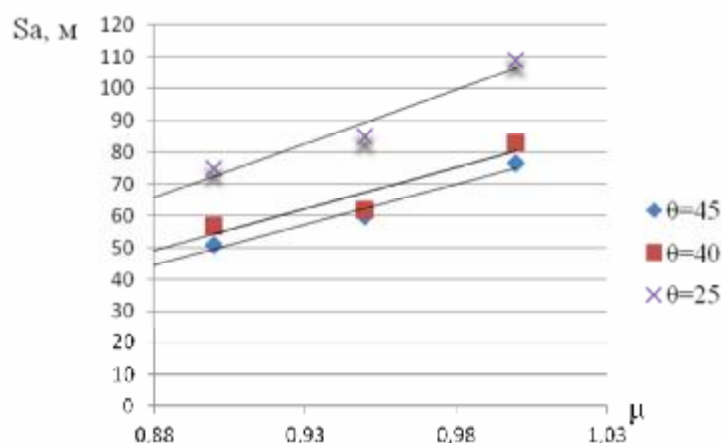


Рис. 10. Залежність зміни горизонтальної дальності траєкторії в кінці активної ділянки траєкторії як функції кута кидання та ступеня виснаження порохового заряду РДТТ у процесі зберігання

Висновки

Отримані вирази (13) і (14) дозволяють визначити висоту та дальність траєкторії в кінці активної ділянки траєкторії польоту РГБ, залежно від кута кидання та m , незважаючи кожного разу задачу зовнішньої балістики. Методи розв'язання задачі на пасивній ділянці траєкторії досить добре відпрацьовані та автоматизовані (пакет програм Intbal), тому розроблений підхід дає можливість у сукупності визначити з необхідної для практики точністю дальність стрільби РГБ, як з кондиційним ПЗ РДТТ, так і зарядом, який зазнав геронтологічних змін.

ВЛИЯНИЕ ГЕРОНТОЛОГИЧЕСКОГО ИЗМЕНЕНИЯ ПОРОХОВОГО ЗАРЯДА РЕАКТИВНОГО ДВИГАТЕЛЯ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ВНЕШНЕЙ БАЛЛИСТИКИ РЕАКТИВНЫХ ГЛУБИННЫХ БОМБ

О.Б. Анипко, П.Д. Гончаренко, О.Ю. Остапенко, А.А. Больших

Представлены результаты анализа влияния геронтологических изменений порохового заряда РДТТ на характеристики внешней баллистики РГБ. Получены зависимости высоты и дальности в конце активного участка траектории от времени горения порохового заряда РДТТ и угла бросания.

IMPACT of GERONTOLOGICAL CHANGES in SOLID FUEL JET ENGINE (SFJE) POWDER CHARGE on EXTERNAL BALLISTICS CHARACTERISTICS of ROCKET DEPTH BOMBS (RDB)

O. Anipko, P. Goncharenko, O. Ostapenko, A. Bol'shich

The analysis of the impact of gerontological changes in solid powder charge on characteristics of the external ballistics of the RDB has been resulted. Dependences of the height and distance at the end of the active trajectory part on the SFJE powder charge burning time and the throwing angle were obtained.

Список використаних джерел

1. Гантмахер Ф.Р. Внешняя баллистика неуправляемых реактивных снарядов / Ф.Р. Гантмахер, Л.М. Левин. – Центральный аэрогидродинамический инс-т им. Н.Е. Жуковского, 1949. – 308 с.

2. *Дмитриевский А.А.* Внешняя баллистика / А.А. Дмитриевский, Л.Н. Лысенко, С.С. Богодистов. – М.: Машиностроение, 1991. – 640 с.
3. *Дмитриевский А.А.* Внешняя баллистика / А.А. Дмитриевский. – М.: Машиностроение, 1972. – 584 с.
4. *Коновалов А.А.* Внешняя баллистика / А.А. Коновалов, Ю.В. Николаев – М.: ЦНИИ информации, 1979. – 208 с.
5. *Игдалов И.М.* Ракета как объект управления / И.М. Игдалов, Л.Д. Кучма, Н.В. Поляков, Ю.Д. Шептун. – Днепропетровск: АРТ-ПРЕСС, 2004. – 544 с.
6. *Кувеко А.Е.* Внутренняя баллистика ствольных систем и ракетных двигателей твердого топлива / А.Е. Кувеко, Ф.П. Миропольский. – М.: ВВИА им. Проф. Н.Е. Жуковского, 1987. – 312 с.
7. *Анипко О.Б.* Внутренняя баллистика ствольных систем при применении боеприпасов длительных сроков хранения / О.Б. Анипко, Ю.М. Бусяк. – Харьков: Изд-во академии внутр. войск МВД Украины, 2010. – 130 с.
8. *Анипко О.Б.* Модель массопереноса при хранении пороховых зарядов с учетом изменения температуры окружающей среды / О.Б. Анипко, И.Ю. Бирюков, Д.С. Баулин // Зб. наук. пр. ХУПС. – Харьков: ХУПС, 2006. – Вып. 2 (8). – С. 50 – 54.

Надійшла до редакції 18.09.20013 р.

УДК 532.13;519.6

О ЧИСЛЕННОМ РЕШЕНИИ УРАВНЕНИЙ НАВЬЕ-СТОКСА ПРИМЕНИТЕЛЬНО К АЭРОГИДРОДИНАМИЧЕСКИМ РАСЧЕТАМ ЭНЕРГОБЛОКОВ АЭС

**В.Г. Выскребцов¹, к.т.н., доц., Л.Г. Корнейчук¹, к.ф.-м.н.,
В.А. Пухлий², д.т.н., проф.**

¹*Московский государственный технический университет «МАМИ»*

²*Севастопольский национальный университет ядерной энергии и промышленности*

Проводится обоснование применения уравнений Навье-Стокса для осуществления аэрогидродинамических расчетов энергоблоков АЭС. Показывается неполнота уравнений Навье-Стокса в том смысле, что в них не учитывается кручение линий тока и соответственно вращательные движения жидкости.

Введение

В современной ядерной энергетике ведущими фирмами мира предлагаются пакеты программ компьютерных расчетов основных элементов энергоблоков АЭС. Как правило, это достаточно широко применяемые многоцелевые пакеты программ типа NASTRAN, ANSI, KATIA и др. В этих программах для динамического анализа механических систем используется метод конечных элементов [11].