Запропонована методика оптимізації параметрів пасивних автобалансирів в роторних машинах шляхом мінімізації часу настання усталеного руху. Вона ґрунтується на теорії планування багатофакторного експерименту і направлена на побудову функції регресії, яка апроксимує функціонал якості роботи роторної машини, і пошук по цій функції оптимальних значень параметрів. Проведена її реалізація для 3D моделі соковижималки

Ключові слова: відцентрова соковижималка, автобалансир, оптимізація параметрів, багатофакторний експеримент, функція регресії

Предложена методика оптимизации параметров пассивных автобалансиров в роторных машинах путем минимизации времени наступления установившегося движения. Она основана на теории планирования многофакторного эксперимента и направлена на построение функции регрессии, аппроксимирующей функционал качества работы роторной машины, и поиск по этой функции оптимальных значений параметров. Приведена ее реализация для 3D модели соковыжималки

Ключевые слова: центробежная соковыжималка, автобалансир, оптимизация параметров, многофакторный эксперимент, функция регрессии

УДК 62-752+62-755

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ЦЕНТРОБЕЖНОЙ СОКОВЫЖИМАЛКИ С АВТОБАЛАНСИРОМ МИНИМИЗАЦИЕЙ ВРЕМЕНИ НАСТУПЛЕНИЯ АВТОБАЛАНСИРОВКИ

В. В. Гончаров
Кандидат физико-математических наук, доцент
Кафедра высшей математики*
E-mail: matkora@yandex.ru
Г. Б. Филимонихин
Доктор технических наук, профессор
Кафедра деталей машин и прикладной механики*
E-mail: filimonikhin@yandex.ua, fgb@online.ua
*Кировоградский национальный технический университет
пр. Университетский, 8,
г. Кировоград, Украина, 25006

1. Введение

В процессе работы многих роторных машин возникает значительный дисбаланс, изменяющийся как по величине, так и направлению, и как следствие появляются вибрации корпуса машины. Это приводит к снижению их производительности и износу деталей. Поэтому целесообразно уравновешивать вращающиеся детали таких машин на ходу – в процессе эксплуатации. При этом нужно иметь методику поиска оптимальных параметров уравновешивающих устройств, основанную на минимизации значений функционалов качества их работы.

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Для уравновешивания на ходу быстровращающихся роторов используются пассивные автобалансиры (автобалансиры) [1, 2]. Корректирующие грузы в таких устройствах сами приходят в положение, в котором уравновешивают ротор и далее вращаются с ним как одно целое, пока не начнет меняться дисбаланс или не появятся возмущения иного происхождения [1 – 4].

В работе [5] предложена модернизация широкого класса соковыжималок с цилиндрическим фильтром-ситом [6, 7], выпускаемых в соответствии с ДСТУ 3141-95 (ГОСТ 18199-95), путем замены платформы, на которой устанавливается фильтр-сито, платформой, совмещенной с шаровым автобалансиром. В работе [8] изложена методика по наладке и тестированию стенда модернизированной соковыжималки. В работе [9] в системе автоматического проектирования SolidWorks [10] создана 3D модель модернизированной соковыжималки (3D модель), предназначенная для компьютерного моделирования динамики соковыжималки с автобалансиром, и с использованием модуля Cosmos Motion [11] проведена ее обработка, наладка и тестирование. В работе [12], для нахождения оптимальных параметров автобалансира, предложена методика, учитывающая особенности работы роторных машин с автобалансирами и использующая теорию многофакторных экспериментов [13]. Она включает: описание «черного» ящика; планирование и проведение многофакторного эксперимента; исследование полученных результатов с помощью программного пакета для статистического анализа данных STATISTICA_6 [14] и системы компьютерной алгебры MathCad.

Данная работа является продолжением работы [12]. Ниже предложена методика выбора статистически приемлемых функций регрессии в случае, когда функционалом качества является время затухания переходных процессов, в том числе время наступления автобалансировки или время, в течение которого устанавливается определенное движение системы. Предложенная методика апробирована на описанной в работе [9] 3D модели центробежной соковыжималки с автобалансиром и использована для оптимизации ее параметров.

3. К теории выбора модели корреляционной связи между целевой функцией и управляющими факторами

3. 1. Общая постановка задачи

Одной из основных задач при оптимизации параметров роторной системы с автобалансиром, использующей данные многофакторного экспериментов, является аппроксимация исследуемой целевой функцией (функционала качества) статистически приемлемой функцией регрессии. Модель корреляционной связи между функционалом качества Q и управляющими факторами $x_1, x_2, ..., x_n$ будем искать в виде

$$\phi(Q) = f(x_1, x_2, ..., x_n), \qquad (1)$$

где $\phi(Q), f(...)$ – некоторые функции своих аргументов, соответственно левая и правая части модели корреляционной связи.

Будем различать четыре вида моделей корреляционной связи: 1), 2) частично приемлемая модель – предназначенная для нахождения соответственно наименьшего и наибольшего значения функционала качества; 3) приемлемая модель – предназначенная для нахождения как наименьшего, так и наибольшего значения; 4) не приемлемая модель - не позволяющая найти ни наименьшее ни наибольшее значение функционала качества.

Задача состоит в отыскании таких функций $\phi(Q), f(...)$ для выбранного функционала качества, при которых модель корреляционной связи (1) будет приемлемой в одном из упомянутых выше смыслов.

Модель корреляционной связи будем называть статистически приемлемой для нахождения наименьшего (наибольшего) значения функционала качества, если она статистически точно отображает экспериментальные результаты и при этом позволяет:

а) определять наборы значений параметров динамической системы (точка в многофакторном пространстве), при которых функционал качества принимает наименьшее (наибольшее) значение;

б) статистически точно определять наименьшее (наибольшее) значение функционала качества.

В данной работе в 5-ти мерном факторном пространстве оптимизируются параметры k_o, b_o, R, n, b_b соковыжималки с автобалансиром (соответственно коэффициенты жесткости и вязкости опор, радиус беговой дорожки шаров, количество шаров, коэффициент сил вязкого сопротивления относительному движению шаров [12]) относительно целевой функции $Q = t_y$ – времени затухания переходных процессов.

Специфика рассматриваемой целевой функции состоит в том, что соответствующая модель корреляционной связи должна давать наименьшее значение функции в интервале $(t_р, t_{э.н})$, где $t_р$ – время разгона ротора, $t_{э.н}$ – наименьшее из экспериментальных значений времени наступления установившегося движения ротора. Этот интервал может быть очень узким и при неудачном выборе модели прогнозированное наименьшее значение может оказаться меньшим $t_р$, или даже отрицательным.

3. 2. К теории выбора вида правой части модели корреляционной связи

Предлагаются две разновидности правой части в модели корреляционной связи (1) между целевой функцией и управляющими факторами.

1) Разложения функции $f(...)$ в ряд Тейлора по степеням факторов:

$$f_л = c_0 + \sum_{i=1}^{5} c_i \tilde{v}_i, \quad f_в = f_л + \sum_{i=1}^{4}\sum_{j=i+1}^{5} c_{ij}\tilde{v}_i\tilde{v}_j, \quad f_к = f_в + \sum_{i=1}^{5} c_{ii}\tilde{v}_i^2, \qquad (2)$$

где $f_л$, $f_в$, $f_к$ – соответственно линейная, учитывающая эффекты взаимного влияния первого порядка и квадратичная правая часть корреляционной связи (1); $\tilde{v}_1 = k_o, \tilde{v}_2 = b_o, \tilde{v}_3 = R, \tilde{v}_4 = n, \tilde{v}_5 = b_b$ – безразмерные факторы; c_0 – свободный член регрессии; c_i, c_{ij}, $/i, j = \overline{1,5}$, $j \geq i\,/$ – коэффициенты регрессии.

Функции (2) – это стандартные, общепринятые правые части в моделях корреляционной связи.

2) Функции, имеющие гиперболические составляющие:

$$f_{л.г} = f_л + \sum_{i=1}^{5} \frac{c_{0i}}{\tilde{v}_i + \tilde{v}_{i0}}, \quad f_{в.г.} = f_в + \sum_{i=1}^{5} \frac{c_{0i}}{\tilde{v}_i + \tilde{v}_{i0}},$$

$$f_{л.г.в.} = f_{л.г.} + \sum_{i=1}^{5}\sum_{\substack{j=1\\ j\neq i}}^{5} \frac{c_{ji}\tilde{v}_j}{\tilde{v}_i + \tilde{v}_{i0}}, \qquad (3)$$

где $f_{л.г}$ – сумма линейной $f_л$ и гиперболических составляющих; $f_{в.г}$ – сумма учитывающая эффекты взаимного влияния 1-го порядка $f_в$ и гиперболические составляющие; $f_{л.г.в}$ – сумма линейных и гиперболических составляющих $f_{л.г}$ и составляющих, учитывающей эффекты взаимного влияния 1-го порядка линейной и гиперболической функций, c_{0i}, $j \geq i\,/$ – коэффициенты регрессии; $\tilde{v}_{i,0} = -\tilde{v}_{i,2} / (\tilde{v}_{i,2} - \tilde{v}_{i,1})$, $/i = \overline{1,5}\,/$ – нулевые значения факторов $(v_i = 0)$ в безразмерном виде.

Гиперболические функции введены для того, чтобы обеспечить резкий рост времени затухания переходных процессов при стремлении некоторых параметров к определенным предельным значениям. Так, время затухания переходных процессов будет стремиться к бесконечности при стремлении коэффициентов сил сопротивления в размерном виде к нулю.

3. 3. К теории выбора вида левой части модели корреляционной связи

1) *Функции, приемлемые для нахождения наибольшего значения.* Предлагаются к рассмотрению модели корреляционной связи (1) с левой частью вида

$$\phi(t_y) = q_1 = (t_y)^{(2m-1)/(2k-1)}, \quad /k, m \in N\,/. \qquad (4)$$

В большинстве случаев модели (1) с левой частью (4) неприемлемы для нахождения наименьшего значения, но довольно точно прогнозируют наибольшее значение.

2) *Функции, приемлемые для нахождения наименьшего значения.* Эти функции должны обеспечить ограничение $t_у - t_р > 0$, что позволит удовлетворить условию $t_{найм}$ $t_р$. Такого результата можно достичь, если функция $(t\ )$ будет непрерывной и монотонной на интервале $(t_р; t_К)$, где $t_К > (t_у)_{max}$, $(t_у)_{max}$ – максимальное из экспериментальных значений времени затухания переходных процессов, а также будет удовлетворять условию $\lim\limits_{t_у \to t_р + 0} \phi(t_у) = \pm\infty$.

Функция $\phi(t_у)$ определяется с точностью до постоянного множителя, поэтому без ограничивая общности можно принять, что $\phi(t_у) \to -\infty$ при $t_b \to t_р + 0$.

Ниже приведены некоторые простейшие функции $q = \phi(t_у)$ такого типа:

$$q_2 = [\ln(t_у - t_р)]^{(2n-1)/(2p-1)}, \; q_3 = -1/(t_у - t_р)^{(2n-1)/(2p-1)},$$

$$q_4 = \{tg[\pi((t_у - t_р)/(t_у)_{max} - 1)/2]\}^{(2n-1)/(2p-1)},$$

$$/n, p \in N/. \qquad (5)$$

При этом соответственно

$$t_{у.найм} = t_р + e^{\sqrt[2n-1]{q_{2.найм}^{2p-1}}}, \; t_{у.найм} = t_р - 1/\sqrt[2n-1]{q_{3.найм}^{2p-1}},$$

$$t_{у.найм} = t_р + (t_у)_{max}[2(\mathrm{arctg}\sqrt[2n-1]{q_{4.найм}^{2p-1}})/\pi + 1], \; /n, p \in N/.$$

Каждая функция (5) рассматривается в паре с любой из функций (2) или (3). Таким образом, получаем не менее 90 моделей корреляционной связи между целевой функцией и управляющими факторами вида (1). Все эти модели будут частично приемлемыми – предназначенными для нахождения наименьшего значения функционала качества. При этом они могут быть неприемлемыми для нахождения наибольшего значения – оно может отличаться от действительного значения в разы.

3) *Функции, приемлемые для нахождения наименьшего и наибольшего значения.* Имея приемлемые модели корреляционной связи для нахождения отдельно наибольшего и наименьшего значения функционала качества, можно построить приемлемую модель – пригодную для нахождения и наименьшего и наибольшего значений. Для этого левая часть в уравнениях (1) – функция $\phi(t_у)$ составляется из двух простых функций, одна из которых приемлема для нахождения наименьшего, а другая – наибольшего значения функционала качества. Ниже приведены примеры таких функций

$$q_4 = A \cdot t_у^{(2m-1)/(2k-1)} + [\ln(t_у - t_р)]^{(2n-1)/(2p-1)},$$

$$q_5 = A \cdot t_у^{(2m-1)/(2k-1)} - 1/(t_у - t_р)^{(2n-1)/(2p-1)},$$

$$q_6 = A \cdot t_у^{(2m-1)/(2k-1)} + \{tg[\pi((t_у - t_р)/(t_у)_{max} - 1)/2]\}^{(2n-1)/(2p-1)},$$

$$/k, m, n, p \in N/, \qquad (6)$$

где $A > 0$ – некоторая константа, играющая роль весового коэффициента.

Из функций (2), (3) и (6) можно составить не менее 30 моделей корреляционной связи (1). Изменяя константу *A* можно получить приемлемые модели корреляционной связи.

4. Апробация методики отыскания приемлемых моделей корреляционной связи

4. 1. Результаты многофакторного эксперимента

Набор факторов, «черный ящик», область изменения факторов и план проведения многофакторного эксперимента описаны в работе [12]. Результаты эксперимента при наличии и отсутствии шаров в автобалансире приведены в табл. 1.

Таблица 1

План и результаты многофакторного эксперимента

№ п/п	Знач. факторов	$t_у$, *c*	Знач. факторов	$t_у^0$, *c*	$t_у^0 / t_у$
1	**2**	3	4	5	6
1	00––0	2,60	00–	2,15	0,83
2	00–+0	2,90	00–	2,15	0,74
3	00+–0	7,05	00+	2,15	0,30
4	00++0	11,00	00+	2,15	0,20
5	0–00–	8,37	0–0	7,60	0,91
6	0–00+	10,05	0–0	7,60	0,76
7	0+00+	9,65	0+0	2,10	0,22
8	0+00–	4,80	0+0	2,10	0,44
9	–+000	5,95	–+0	2,20	0,37
10	––000	5,90	––0	9,00	1,53
11	+–000	7,50	+–0	8,60	1,15
12	++000	6,20	++0	2,10	0,34
13	+000–	4,60	+00	2,15	0,47
14	–000–	3,60	–00	2,10	0,58
15	–000+	10,45	–00	2,10	0,20
16	+000+	10,90	+00	2,10	0,19
17	+0–00	2,70	+0–	2,15	0,80
18	–0–00	2,70	–0–	2,10	0,78
19	00–0–	5,25	00–	2,10	0,40
20	00–0+	4,65	00–	2,10	0,45
21	0––00	8,00	00–	7,90	0,99
22	0+–00	2,65	0+–	2,10	0,79
23	0++00	10,10	0++	2,15	0,21
24	0–+00	10,65	0–+	11,00	1,03
25	–0+00	10,10	–0+	2,15	0,21
26	+0+00	9,80	+0+	2,20	0,22
27	00+0–	4,50	00+	2,15	0,48
28	00+0+	14,50	00+	2,15	0,12
29	000––	4,70	000	2,10	0,45
30	000–+	6,80	000	2,10	0,31
31	0–0–0	7,60	0–0	7,60	1,00
32	0+0–0	4,60	0+0	2,10	0,46
33	–00–0	4,65	–00	2,10	0,45
34	+00–0	4,55	+00	2,15	0,47
35	+00+0	6,80	+00	2,15	0,32
36	–00+0	6,65	–00	2,10	0,32
37	0–0+0	7,95	0–0	7,60	0,96
38	0+0+0	6,90	0+0	2,10	0,30
39	000+–	3,20	000	2,10	0,66
40	000++	12,70	000	2,10	0,17
41	00000	5,90	000	2,10	0,36

В табл. 1 указано в колонках:

– 2-ой, 4-ой – значения факторов, при которых проводится эксперимент для 3D модели соответственно при наличии и отсутствии шаров в автобалансире;

– 3-ей, 5-ой – значение функционала качества для 3D модели соответственно при наличии и отсутствии шаров в автобалансире;

– 6-ой – отношение соответствующих функционалов качества в 3-ей и 5-ой колонках.

Из 6-ой колонки табл. 1 следует, что в большинстве случаев наличие шаров в 3D модели увеличивает время наступления установившегося движения, хотя при некоторых наборах значений факторов (ячейки с серым фоном) наличие шаров уменьшает это время.

4. 2. Апробация моделей корреляционной связи

1) Рассмотрены 6 моделей (1) корреляционной связи между целевой функцией $t_у$ и управляющими факторами $k_о$, $b_о$, R, n, b_b с правой частью вида (2), (3) и простейшей левой частью – $q_1 = t_у$. Их анализ проведен аналогично работе [12]. Найденные полные модели затем были исследованы на наименьшее и наибольшее значения с помощью программы MathCad.

Из анализа следует, что все модели корреляционной связи частично приемлемы. Наибольшее значение функционала качества они прогнозируют достаточно точно: погрешность по точке, в которой принимается наибольшее значение, для всех функций не больше 5 %; по значению функционала качества для функций $f_л$, $f_к$ – около 30 %, а для остальных – не более 5 %. Наименьшее значение по условиям эксперимента должно попадать в интервал $(t_р, t_{э.найм}) = (2;2,6)$, а по факту все прогнозируемые значения функционала меньше времени разгона ротора $t_р = 2\ с$, а некоторые – даже отрицательные (хотя точка, в которых принимается наибольшее значение, для моделей $f_к$, $f_{л.г.в}$ прогнозируется сравнительно точно – погрешность до 10 %). Заметим также, что чем сложнее правая часть модели, тем точнее прогноз.

2) Рассмотрены модели (1) корреляционной связи между целевой функцией $t_у$ и управляющими факторами $k_о$, $b_о$, R, n, b_b с правой частью вида (2), (3) и левой частью вида (5). Всего 10 функций вида (5) в паре с каждой из функций (2), (3) – 60 моделей. Их анализ проведен аналогично п. 1.

Все модели, кроме $f_л$, $f_{л.г}$, частично приемлемы и подходят для нахождения наименьшего значения – все значения больше $t_р = 2\ с$ и погрешность не превышает 20 %. Самой точной является модель с левой частью вида $\ln^3(t_у - t_р)$ – погрешность прогнозирования наименьшего значения составляет 6,6 %, 12,2 % соответственно для правой части вида $f_к$ и $f_{л.г.в}$.

Модель с левой частью вида $\ln^3(t_у - t_р)$ и правой частью вида $f_к$ и $f_{л.г.в}$ приемлема, причем погрешность прогнозирования наибольшего значения составляет соответственно 10,0 %, 0,7 %.

3) Рассмотрены модели (1) корреляционной связи между целевой функцией $t_у$ и управляющими факторами $k_о$, $b_о$, R, n, b_b с левой частью вида (6) в паре с каждой из функций (2), (3) (проверено 40 моделей). Практически все модели приемлемы. Наилучший результат дают модели с левой частью вида q_5, q_4 при $n = 3$ в комбинации с правой частью соответственно $f_{в.г}$, $f_к$. Погрешности при прогнозировании наибольшего и наименьшего значений равны соответственно (1,6 %; 2,1 %) и (9,8 %; 10,1 %). Для остальных моделей погрешность не превышает 30 %.

Приемлемые модели корреляционной связи позволили найти в 5-ти факторном безразмерном пространстве 3D модели соковыжималки с автобалансиром точки (–1;1;–1;–1;0,07) и (1;–1;1;1;1), в которых время протекания переходных процессов принимает, соответственно, наименьшее 2,4 с и наибольшее 20,4 с значение. Как видно, оптимизация параметров позволяет уменьшить время протекания переходных процессов до 8,5 раз.

5. Выводы

1. При минимизации времени протекания переходных процессов в роторных машинах с автобалансирами приемлемыми для нахождения:

– наибольшего значения являются модели с левой частью вида $t_у$, $\ln^3(t_у - t_р)$ в паре правыми частями соответственно $f_в$, $f_{л.г}$, $f_{в.г}$, $f_{л.г.в}$ и $f_к$, $f_{л.г.в}$;

– наименьшего значения являются все модели с левой частью вида (5) в паре правыми частями $f_в$, $f_к$, $f_{в.г}$, $f_{л.г.в}$, причем самой точной является модель с левой частью $\ln^3(t_у - t_р)$ в паре с правыми частями $f_к$, $f_{л.г.в}$;

– как наибольшего, так и наименьшего значения являются модели с левой частью вида $t_у + \ln^3(t_у - t_р)$ и $t_у - 1/(t_у - t_р)^3$ в паре с правыми частями $f_к$, $f_{л.г.в}$.

2. Наименьшее и наибольшее значение времени протекания переходных процессов 3D модели соковыжималки с автобалансиром равны 2,4 с, 20,4 с и достигаются, соответственно, в точках (–1;1;–1;–1;0,07), (1;–1;1;1;1) 5-ти факторного безразмерного пространства.

Литература

1. Гусаров, А. А. Автобалансирующие устройства прямого действия [Текст] / А. А. Гусаров. – М.: Наука, 2002. – 119 с.
2. Філімоніхін, Г. Б. Зрівноваження і віброзахист роторів автобалансирами з твердими коригувальними вантажами [Текст] / Г. Б. Філімоніхін. – Кіровоград: КНТУ, 2004. – 352 с.
3. Нестеренко, В. П. Автоматическая балансировка роторов приборов и машин со многими степенями свободы [Текст] / В. П. Нестеренко. – Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1985. – 84 с.
4. Rodrigues, D. J. Automatic two-plane balancing for rigid rotors [Text] / D. J. Rodrigues, A. R. Champneys, M. I. Friswell, R. E. Wilson // International Journal of Non-Linear Mechanics. – 2008. – Vol. 43, Issue 6. – P. 527–541.
5. Гончаров, В. В. Технічні рішення із зрівноваження на ходу екстракторів відцентрових соковижималок [Текст] / В. В. Гончаров, Г. Б. Філімоніхін // Загальнодержавний міжвідомчий н.-т. збірник "Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин". – 2013. – Вип. 43, Ч. I. – С. 257–262.

6. Летаев, Д. А. Бытовые электроприборы для кухни [Текст] : справ. пособие / Д. А. Летаев. – Москва: Легпромбытиздат, 1992. – 96 с.
7. Партала, О. Н. Справочник по ремонту бытовых электроприборов [Текст] / О. Н. Партала. – СПб: Наука и техника, 2010.– 400 с.
8. Филимонихин, Г. Б. Стенд центробежной соковыжималки с автобалансиром для определения оптимальных значений параметров автобалансира [Текст] / Г. Б. Филимонихин, В. В. Гончаров // Вестник национального технического университета «ХПИ».– 2013. – Вып. 70. – С. 22–27.
9. Гончаров, В. В. 3D моделирование динамики центробежной соковыжималки с шаровым автобалансиром [Текст] / В. В. Гончаров, Г. Б. Филимонихин // Технологічний аудит та резерви виробництва. – 2013. – Т. 6, №. 1 (14). – С. 15–18.
10. Алямовский, А. А. COSMOSWorks. Основы расчета конструкций на прочность в среде SolidWorks [Текст] / А. А. Алямовский. – М.: ДМК Пресс, 2010. – 784 с.
11. Kuang-Hua, Chang Motion Simulation and Mechanism Design with COSMOSMotion 2007 [Text] / Chang Kuang-Hua. – Publisher: Schroff Development Corporation, 2008. – 142 p.
12. Гончаров, В. В. Методика оптимизации параметров шарового автобалансира на примере минимизации установившегося виброускорения 3D модели центробежной соковыжималки [Текст] / В. В. Гончаров, Г. Б. Филимонихин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2014. –Т. 1, №7 (67). – С. 9–14.
13. Ермаков, С. М. Математическая теория планирования эксперимента [Текст] / С. М. Ермаков, В. З. Бродский, А. А. Жиглявский и др.; под общей редакцией С. М. Ермакова. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1983. – 392 с.
14. Халафян, А. А. Statistica 6. Статистический анализ данных [Текст] : учеб. / А. А. Халафян. – М.: ООО «Бином-Пресс», 2007. – 512 с.

УДК 532.582

МОДЕЛИРОВАНИЕ УДАРНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТЕЛА И ЖИДКОСТИ СО СВОБОДНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

В. А. Катан
Старший преподаватель
Кафедра математического моделирования
Днепропетровский национальный университет имени О. Гончара
пр. К.Маркса, 35, г. Днепропетровск, Украина, 49000
E-mail: vlad_aleks@i.ua

Розглядається задача про ударну взаємодію пластини з рідиною, що має вільну поверхню. Пластинка розташована під кутом нахилу до вільної поверхні рідини і моделює роботу органу управління судном.

Для безвідривного обтікання отримано точний розв'язок при довільному куті нахилу; для обтікання з відривом точний розв'язок вдалось знайти лише при певному куті нахилу

Ключові слова: ударна взаємодія тіла та рідини із вільною поверхнею, ударний рух

Рассматривается задача об ударном взаимодействии пластинки с жидкостью, которая имеет свободную границу. Пластинка расположена под углом наклона к свободной поверхности жидкости и моделирует работу органа управления судном.

Для безотрывного обтекания получено точное решение при любом угле наклона; для обтекания с отрывом точное решение получено только при определенном угле наклона

Ключевые слова: ударное взаимодействие тела и жидкости со свободной поверхностью, ударное движение

1. Введение

Пластинка (или тело, близкое к ней по форме) используется в качестве рулевых органов и активных успокоителей качки в процессе управления судами, а также часто служит органом управления и автоматики в различных гидравлических системах [1, 2]. Резкое (ударное) изменение скорости движения элементов пластинки может вызвать явление мгновенного отрыва жидкости от ее поверхности, что, в свою очередь, может привести к нарушению ее рабочего режима, вызванного неконтролируемым изменением ее гидродинамическим характеристик.

При мгновенном изменении кинематических параметров тела в жидкости, контактируемой с телом, возникает мгновенное потенциальное поле скоростей (если первоначально жидкость покоилась) или дополнительное потенциальное по отношению к исходному полю. При ударном взаимодействии потенциал скорости на свободных границах жидкости остается равным нулю. На этих участках границы, на которых во время удара нормальная компонента скорости тела направлена вовнутрь жидкость, сохраняется контакт тела с жидкостью и выполняется условие безотрывного обтекания; на тех же участках поверхности, где нормальная компонента тела направлена от жидкости, возможно возникновение инерционного отставания жидкости от тела – так называемый отрыв жидкости. Предугадать заранее место возникновение разрыва и его размеры невозможно. Координату точки начала зоны отрыва