

Список литературы

1. Гринкевич Я. М. Наблюдатели и оцениватели состояния в судовых системах управления / Я. М. Гринкевич, В. В. Сахаров. — СПб.: СПГУВК, 2001. — 193 с.
2. Lewis F. L. Optimal Control / F. L. Lewis, D. Vrabie, V. L. Syrmos. — 3rd ed. — N. Y.: John Wilcy and Sons, 2012. — 541 p.
3. Modal parametric identification of flexible mechanical structures in mechatronic system / C. K. Pang [et al.]; Trans. Inst. Measurement and Control. — 2010. — Vol. 32, № 2. — P. 137–154.

УДК 656.625.073.28

Ю. Я. Зубарев,
д-р техн. наук, профессор,
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова;
А. С. Хвастунов,
аспирант,
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ЗАГРУЗКИ КОНТЕЙНЕРНОГО ТЕРМИНАЛА ПРИ ЗАДАННОМ ВРЕМЕНИ ОЖИДАНИЯ

DETERMINING THE OPTIMAL LOAD OF CONTAINER TERMINAL AT A GIVEN WAITING TIME

Рассматривается аналитический метод определения оптимальной загрузки специализированного терминала на основе полиномиальных моделей процессов переработки контейнерных грузов при заданном времени ожидания.

An analytical method for determining the optimal load of specialized terminal based on polynomial models of the processing of container cargo at a given waiting time is considered.

Ключевые слова: вычислительный эксперимент, полиномиальные модели, переработка контейнерных грузов.

Key words: computer experiment, polynomial models, processing of container cargo.

РАССМОТРИМ задачу оптимального планирования загрузки терминала при заданном числе причалов S и общем числе судов m , поступающих в терминал. Необходимо выбрать такой коэффициент загрузки терминала ϕ , при котором величина среднего приведенного времени ожидания τ не превосходила бы заданных значений. При этом под средним приведенным временем ожидания будем понимать отношение среднего времени нахождения судна в очереди к длительности обработки судна: $\tau = \frac{\bar{T}_{\text{ож}}}{\bar{T}_{\text{обр}}}$. Применение такого критерия в указанной постановке целесообразно в случае, когда спрос на переработку грузов превышает предложение, то есть для терминала имеются предложения по достаточно большому объему переработки грузов.

Рассмотрим вероятностную модель обработки экспортно-импортных контейнерных судов на специализированном терминале [2]. Для решения поставленной задачи, мы можем использовать два различных подхода: численный и аналитический. Численный подход требует неоднократного

вычисления значения коэффициента загрузки терминала в соответствии с одним из алгоритмов одномерной оптимизации. Воспользуемся аналитическим подходом.

Для этого рассмотрим аппроксимирующий полином зависимости среднего приведенного времени ожидания судов в очереди от характеристик контейнерного терминала. Способ определения коэффициентов аппроксимирующего полинома на основе метода наименьших квадратов подробно описывается в [3, с. 85–89]. Воспользовавшись этим способом, получим следующий полином четвертого порядка:

$$\begin{aligned} \tau(m, S, \varphi) = & b_0 + b_1 m + b_2 S + b_3 \varphi + b_{11} m^2 + b_{22} S^2 + b_{33} \varphi^2 + b_{12} mS + b_{13} m\varphi + b_{23} S\varphi + \\ & + b_{111} m^3 + b_{222} S^3 + b_{333} \varphi^3 + b_{112} m^2 S + b_{113} m^2 \varphi + b_{122} mS^2 + b_{123} mS\varphi + b_{133} m\varphi^2 + b_{223} S^2 \varphi + b_{233} S\varphi^2 + \\ & + b_{1122} m^2 S^2 + b_{1133} m^2 \varphi^2 + b_{1123} m^2 S\varphi + b_{1223} mS\varphi^2 + b_{1223} mS^2 \varphi + b_{2233} S^2 \varphi^2 + \\ & + b_{1111} m^4 + b_{2222} S^4 + b_{3333} \varphi^4. \end{aligned}$$

Определим значение коэффициента φ при заданных граничных значениях времени τ , а также фиксированных значениях m и S . Для этого найдем решение уравнения 4-й степени методом Декарта–Эйлера [1].

Подстановкой значений m , S и τ в полином получим уравнение вида:

$$a\varphi^4 + b\varphi^3 + c\varphi^2 + d\varphi + e = 0$$

Приведем его к неполному виду через подстановку $\varphi = y - \frac{b}{4a}$:

$$y^4 + py^2 + qy + r = 0, \quad y \quad (1)$$

где

$$p = \frac{8ac - 3b^2}{8a^2}, \quad q = \frac{8a^2d + b^3 - 4abc}{8a^3}, \quad r = \frac{16ab^2c - 64a^2bd - 3b^4 + 256a^3e}{256a^4}.$$

Корни уравнения (1) равны одному из следующих выражений:

$$y_{1,2,3,4} = \pm\sqrt{z_1} \pm \sqrt{z_2} \pm \sqrt{z_3}, \quad (2)$$

в котором сочетания знаков выбираются таким образом, чтобы выполнялось следующее соотношение:

$$(\pm\sqrt{z_1})(\pm\sqrt{z_2})(\pm\sqrt{z_3}) = -\frac{q}{8}, \quad (3)$$

причем z_1 , z_2 и z_3 — корни кубического уравнения:

$$z^3 + \frac{p}{2}z^2 + \frac{p^2 - 4r}{16}z - \frac{q^2}{64} = 0. \quad (4)$$

Для решения уравнения 3-й степени (4) воспользуемся тригонометрической формулой Виета. Поочередно подставив найденные корни в формулу (2) с соблюдением условия (3), получим

корни неполного уравнения (1). Повторно воспользовавшись подстановкой $\varphi_{1,2,3,4} = y_{1,2,3,4} - \frac{b}{4a}$,

найдем корни исходного уравнения.

Для определения оптимальной загрузки задается среднее приведенное время ожидания, общее число судов и причалов. Построим таблицу оптимальных значений φ , соответствующих значениям m , S и $\tau_{\text{гран}}$ (табл. 1).

Таблица 1

m	S	$\tau_{\text{гран}}$			
		0,1	0,15	0,2	0,25
10	2	0,4697	0,5700	0,6421	0,6996
	3	0,6402	0,7273	0,7862	0,8283
	4	0,7496	0,8206	0,8657	0,8987
	5	0,8263	0,8814	0,9183	0,9465
20	2	0,419	0,5348	0,6052	0,6622
	3	0,5924	0,6772	0,7395	0,7858
	4	0,6835	0,7624	0,8153	0,8537
	5	0,7493	0,8187	0,8645	0,8983
30	2	—	0,5238	0,5945	0,6514
	3	0,5808	0,6649	0,7266	0,7727
	4	0,6691	0,7467	0,7994	0,8381
	5	0,7295	0,7986	0,8451	0,8797
40	2	0,3936	0,5169	0,5882	0,6457
	3	0,5730	0,6591	0,7216	0,7678
	4	0,6627	0,7413	0,7941	0,8325
	5	0,7228	0,7921	0,8383	0,8727
50	2	0,4294	0,5171	0,5838	0,6399
	3	0,5684	0,6522	0,7150	0,7618
	4	0,6552	0,7347	0,7882	0,8270
	5	0,7161	0,7863	0,8329	0,8673

При $m = 10$, $S = 2$ и $\tau = 0,1$ не удалось найти действительный корень уравнения.

Подставим значения показателей качества в исходную модель и сравним полученное значение τ с граничным значением $\tau_{\text{гран}}$.

Таблица 2

m	S	$\tau_{\text{гран}}$			
		0,1	0,15	0,2	0,25
10	2	0,0980	0,1509	0,2014	0,2523
	3	0,1001	0,1518	0,2011	0,2478
	4	0,1006	0,1497	0,1953	0,2413
	5	0,0999	0,1448	0,1906	0,2433
20	2	0,0885	0,1497	0,1998	0,2504
	3	0,0996	0,1499	0,2009	0,2504
	4	0,0978	0,1496	0,1998	0,2490
	5	0,0977	0,1487	0,1998	0,2508
30	2	—	0,1492	0,1998	0,2506
	3	0,1008	0,1514	0,2021	0,2512
	4	0,0996	0,1509	0,2003	0,2486
	5	0,0983	0,1481	0,1969	0,2467
40	2	0,0830	0,1479	0,1990	0,2502
	3	0,1002	0,1521	0,2039	0,2534
	4	0,1007	0,1532	0,2032	0,2513
	5	0,1001	0,1506	0,1992	0,2483
50	2	0,1006	0,1499	0,1979	0,2476
	3	0,0999	0,1501	0,2014	0,2509
	4	0,0993	0,1518	0,2018	0,2498
	5	0,0995	0,1503	0,1998	0,2472

Из табл. 2 можно видеть, что в подавляющем большинстве случаев расчетные значения среднего времени ожидания отличаются от граничных не больше чем на 0,001. Таким образом, можно заключить, что аналитический метод целесообразно использовать для расчета коэффициента загрузки терминала.

На основании предложенного метода была разработана программа, для которой было получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ [4].

Список литературы

1. Корн Г. Справочник по математике (для научных работников и инженеров) / Г. Корн, Т. Корн. — М.: Наука, 1974. — 832 с.
2. Гайнуллин А. С. Моделирование процессов переработки контейнерных грузов на основе немарковских моделей массового обслуживания / А. С. Гайнуллин, А. С. Хвастунов // Современные тенденции и перспективы развития водного транспорта в России: материалы II Межвуз. науч.-практ. конф. студ. и аспирантов, 12–13 мая 2001 г. — СПб.: СПГУВК, 2011. — 458 с.
3. Гайнуллин А. С. Идентификация процессов переработки грузов на основе полиномиальных моделей / А. С. Гайнуллин, А. С. Хвастунов // Журнал Университета водных коммуникаций. — СПб.: СПГУВК, 2012. — Вып. 1.
4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012661388 «Выбор оптимальной загрузки контейнерного терминала»: зарег. в Реестре программ для ЭВМ 13 декабря 2012 г.

УДК 621.431:629

В. В. Мартъянов,
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова

РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК КОЛЕБАНИЙ СУДОВОГО ВАЛОПРОВОДА ПРОГУЛОЧНОГО ПАССАЖИРСКОГО ТЕПЛОХОДА «ВОЛХОВ-1» (ПРОЕКТ «МОЙКА»)

CALCULATION OF CHARACTERISTICS OF A SHIP SHAFTING OSCILLATION OF A PLEASURE PASSENGER SHIP “VOLHOV-1” (DESIGN “MOYKA”)

В работе проведен расчет основных характеристик свободных колебаний судового валопровода прогулочного пассажирского теплохода типа «Волхов» (проект «Мойка»).

Приведены результаты математических расчетов, на основании которых можно дать рекомендации по увеличению надежности и долговечности судового валопровода, а также рекомендовать некоторые конструктивные изменения.

The calculation of the basic characteristics of autonomous oscillation of ship shafting of a pleasure passenger ship “Volhov”, design “Moyka” is carried out in present work.

The math calculations are cited in the work, on the ground of which one can give recommendations on increasing safety and longevity of ship shafting and also recommend some constructive changes.

Ключевые слова: судно, валопровод, гребной вал, гребной винт, эксплуатация, механические колебания, вибрация, отказ.

Key words: ship, shafting, propeller shaft, screw, exploitation, mechanical oscillations, vibration, failure.