УДК 62.50 - общий

ВЫБОР КРИТЕРИЯ КАЧЕСТВА ДЛЯ СИНТЕЗА РЕГУЛЯТОРА СИСТЕМЫ ДИНАМИЧЕСКОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ БУРОВОГО СУДНА

Масляев С. И.

ГОУВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева», г. Саранск

Аннотация. Исследуется задача минимизации суммы взвешенных дисперсий при случайном воздействии в применении к позиционированию бурового судна.
Ключевые слова: буровое судно, позиционирование, система управления, взвешенная дисперсия, случайное воздействие.

Для бурового судна (БС) режим бурения является основным и наиболее ответственным, так как на него приходится от 60 до 90% всего рабочего времени. По экономическим соображениям при построении системы управления для режима позиционирования в точке бурения необходимо максимально расширить возможности функционирования БС при изменении погодных условий и состояния моря. Ветер и течение требуют дополнительной установочной мощности подруливающих устройств из-за малой их эффективности. Таким образом, значительно увеличиваются затраты энергии на позиционирование. Серьезную проблему вызывает волнение, которое образует два основных воздействия на БС. Наиболее мощное воздействие волнения вызывает бортовую, килевую, вертикальную качку и другие периодические движения, которые ограничивают режим бурения. Второй тип воздействия волн вызывает смещение БС. Это смещение можно компенсировать с помощью подруливающих устройств и гребных установок, тогда как первый тип воздействия компенсировать невозможно. Поэтому необходимо решить задачу такой ориентации БС, чтобы снизить до минимума действие этих возмущений. При изменении направления действия всех вышеназванных возмущений будет соответственно изменяться и ориентация БС в пространстве фазовых координат.

В формулировке требований к автоматической системе стабилизации БС будем исходить из предположения, что под влиянием внешних возмущений в системе имеет место стационарный случайный процесс и фазовые координаты представляют собой случайные функции времени, удовлетворяющие условию эргодичности. Таким образом, необходимо получить такое управление, которое обеспечивало бы минимум дисперсий стабилизируемых координат. Чтобы задача была корректной, необходимо учесть ограничения на управление.

Так как невозможно достичь одновременно абсолютного минимума функционала по всем фазовым координатам с учетом их взаимосвязи, остановимся на дисперсионном критерии, который удовлетворяет особенностям поставленной задачи построения регулятора

$$J = \sum_{i=1}^{n} r_i D_{xi} + \sum_{j=1}^{m} r_j D_{vj}\,, \qquad (1)$$

где r_i, r_j - матрицы весовых множителей; D_{xi}, D_{Vj} - матрицы дисперсий, которые можно представить в виде

$$D_{xi} \le \left| \frac{X_i(t)\max}{3} \right|^2, \quad i = 1,2,\ldots,n, \qquad (2)$$

$$D_{vi} \leq \left| \frac{V_j(t)\max}{3} \right|^2, \; j = 1,2,...,m. \qquad (3)$$

Критерий (1) определяет взаимосвязь стабилизируемых координат X_i объекта управления и управляющих воздействий V_j и является частным случаем критерия среднего риска. В векторной форме его можно записать

$$J = E\int_0^\infty \left\{ X^{\mathrm{T}} R_X X + V^{\mathrm{T}} R_V V \right\} dt, \qquad (4)$$

где R_X, R_V - положительно определенные симметрические матрицы весовых коэффициентов.

Вследствие того, что координаты вектора возмущений описываются стационарными эргодическими процессами, а система управления динамики БС линейная, управление будет линейной функцией координат и возмущений [1, 2].

Критерий (4) будет определять статистические свойства системы управления, при построении которой необходимо учитывать ограничения на управления и фазовые координаты в виде

$$V \in V_m, \qquad (5)$$

$$X \in \mathrm{X}_m, \qquad (6)$$

где V_m и X_m - множества максимально возможных значений управляющих воздействий и фазовых координат.

Таким образом, при ограничениях (5), (6) для БС требуется построить замкнутую систему динамической стабилизации, обеспечивающую такое управление $V_0(X, V, S)$, которое удовлетворяет ограничениям и минимизирует критерий качества (4).

Так как возмущение носит стационарный характер, то целесообразно использовать детерминированный подход. Доказательство эквивалентности стохастического и детерминированного подходов для скалярных процессов представлено в [2]. Справедливость подобного утверждения распространяется также и на векторную функцию. При формулировке эквивалентности подходов для детерминированной и стохастической задачи исходим из известного положения, что сигнал, который описывается случайной, стационарной, эргодической, центрированной функцией S(t), можно рассмотреть как результат преобразования сигнала типа белого шума линейным фильтром, АФХ которого $H_z(j\omega)$ определяется по спектральной плотности из условия $S_z(\omega) = \left| H_z(j\omega) \right|^2$ [2]. Дальнейшее преобразование этого сигнала определяется математической моделью системы. Если АФХ системы координаты X_i по воздействию $S_i(t)$ обозначить $H_{Cj}(j\omega)$, то результирующая АФХ будет эквивалентна АФХ системы i координаты

$$H_i(j\omega) = H_z(j\omega) H_{Cj}(j\omega). \qquad (7)$$

Для стационарного процесса, если выходной сигнал - белый шум с единичной спектральной плотностью, спектральная плотность фазовой координаты X_i системы имеет вид

$$S_i(\omega) = \left| H_i(j\omega) \right|^2,$$

а автокорреляционная функция

$$K_{Xi}(\tau) = \int_0^\infty h_{Xi}(t) h_{Xi}(t-\tau) dt, \qquad (8)$$

где h_{Xi} - импульсная характеристика связи (белый шум - координата X_i). Дисперсия фазовой координаты равняется начальному значению авткорреляционной функции

$$D_{Xi} = K_{Xi}(0) = \int_0^\infty h_{Xi}(t) dt. \qquad (9)$$

Поэтому сумму взвешенных дисперсий (1) можно записать в виде квадратичного функционала

$$J = \int_0^\infty \left\{ \sum_{i=1}^{n} r_i h_{Xi}^2(t) + \sum_{j=1}^{m} r_j h_{Vj}^2(t) \right\} dt. \qquad (10)$$

Следствием вышесказанного является то, что условие (1) выполняется в том случае, если достигает минимума функционал (10), который характеризует детерминированное движение системы при действии импульсной функции $\delta(t)$ на входе фильтра. При этом на выходе фильтра существует детерминированный сигнал, определенный при $t \geq 0$

$$S(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} H(j\omega) e^{i\omega t} d\omega. \qquad (11)$$

Следовательно, задача минимизации суммы взвешенных дисперсий при случайном воздействии с критерием качества (2) эквивалентна задаче минимизации среднеквадратичного функционала [2]

$$J = E\left\{ \int_0^\infty (X^{\mathrm{T}} R_X X + V^{\mathrm{T}} R_V V) dt \right\}.$$

Если система полностью управляема, то существует единственная невырожденная матрица коэффициентов усиления, для которой (2) будет минимальной независимо от начальных условий.

Литература

1. Лебедев Э.П. и др. Средства активного управления судами. – Л.: Судостроение, 1969. – 278 с.
2. Холодилин А.Н. Мореходность и стабилизация судов на волнении. – Л.: Судостроение, 1976. – 328 с.