

соотнесения искусства со Святым Писанием и составляло сердцевину канона средневекового искусства.

Мысль о. Павла Флоренского об органичной вплетенности искусства в религиозный обряд, проведенная им в работе «Храмовое действо как синтез искусств», должна быть в известной мере отнесена к средневековому искусству, а еще прежде — к античному. Ведь храмовое богослужение, по словам самого о. Павла, являет собой живое наследие античности. «Синтез храмового действа, — писал он, — не ограничивается только сферой изобразительных искусств, но вовлекает в свой круг искусство вокальное и поэзию, — поэзию всех видов, — сам являясь в плоскости эстетики — музыкально-драмой. Тут всё подчинено единой цели, верховному эффекту кафарсиса этой музыкальной драмы, и потому всё, соподчиненное тут друг другу, не существует или по крайней мере ложно существует взятое порознь».

Указание на подчиненность средневекового искусства религиозному обряду можно усмотреть и в феномене анонимности значительной его части, особенно в раннее средневековье. Авторство не

имело значения — ведь человек мыслился всего лишь проводником божественной воли, и творческое начало помещалось не в нем самом, но в Боге. Так, лишь к XII столетию относятся первые известные нам имена творцов средневековой музыки. Это — композиторы школы собора Нотр-Дам де Пари Леонин и Перотин. А сколько анонимных творений из других областей средневекового искусства рассеяно по всему его ареалу!

Новое время — эпоха дифференциации искусств, последовавшей за разрушением рамок традиционного обряда. Уже позднее средневековье отрицает обряд, пародируя его. Как пишет А. Бергсон в своем эссе «Смех», «обрядовая сторона общественной жизни должна всегда заключать в себе комизм в скрытом состоянии, который ждет только случая вырваться на свет». Но исчезает ли обряд совсем? Не облекается ли он в новые формы служения правде жизни? Не служит ли искусство и сейчас, как и всегда, обретению подлинного бытия? «Чем поэтичнее, тем подлиннее», — говорил романтик Новалис. Быть может, и сегодня подлинное искусство обстоит обряду, пространство которого — наш общий дом, Земля?

«Компьютерное моделирование в науке и технике»

Математическая модель робастного управления углом поворота лопастей гребного винта водного судна

Краснов И.Ю.

*Томский политехнический университет,
г.Томск*

Цель системы управления состоит в том, чтобы управлять скоростью поворота лопастей гребного винта водного судна согласно допустимым значениям (минимальному и максимальному) кру-

тящего момента двигателя. При достаточно большой скорости корабля поворот лопастей винта с номинальной скоростью (1.8 градусов в секунду) приводит к резкому увеличению мощности дизельного двигателя, что является недопустимым с точки зрения безопасности. Для функционирования системы с заданными требованиями (изменение электро-механического момента двигателя в допустимых пределах) также необходимо учитывать внешние возмущения (например, влияние волн, качка судна).



Рис. 1 – Вид гребного винта с поворачивающимися лопастями

Главные параметры функционирования системы судна представлены в рис. 2.

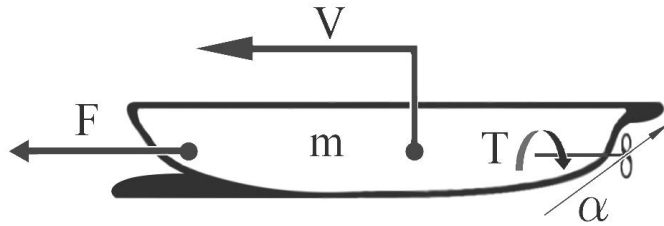


Рис. 2 – Параметры функционирования системы судна

Матричная форма уравнений математической модели имеет вид [1]:

$$\begin{pmatrix} \dot{\alpha} \\ \dot{V}_\alpha \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & -\frac{|V^*|}{m^*} F_n \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \alpha \\ V_\alpha \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & \frac{F^*}{m^*} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_\alpha \\ u \end{pmatrix} \tag{1}$$

где V – скорость судна, F – движущая сила, m – масса судна, T – вращающий момент двигателя, α – угол поворота лопастей винта, V_α – управление (скорость изменения угла поворота лопастей винта) (градусы в секунду), символ « $\dot{}$ » означает измерение в относительных единицах; V_n^*, F_n^* обозначают номинальную скорость судна и номинальную движущую силу (при номинальном угле поворота лопастей винта).

где $x(k)$ – вектор, компоненты которого определяют состояние объекта в момент времени k ; $\tilde{u}(k)$ – 2-мерный вектор управляющих воздействий; $\tilde{A}(k, x(k))$ – матрица параметров, $\tilde{b}(k, x(k))$ – матрица влияния управляющих воздействий; x_0 – вектор состояния в начальный момент времени.

Таким образом, математическая модель функционирования водного судна описана системой нелинейных разностных уравнений вида [2]:

Управляющее воздействие формируется по закону [1,2]:

$$x(k+1) = \tilde{A}(k, x(k)) x(k) + \tilde{b}(k, x(k)) \tilde{u}(k), \quad x(0) = x_0,$$

$$Ad(k) = \begin{cases} \frac{Sp_{max}(\tilde{T}^*(k) - T_{min})}{TOL} & \text{где } \tilde{T}^*(k) - T_{min} - TOL > 0, \\ \frac{Sp_{max}(T_{max} - \tilde{T}^*(k))}{TOL} & \text{где } T_{max} - \tilde{T}^*(k) - TOL < 0, \\ Sp_{max} \end{cases}$$

$$Ad_u(k) = \begin{cases} \frac{Ad(k) \tilde{\varepsilon}(k)}{smooth} & \text{где } \tilde{\varepsilon}(k) - smooth \leq 0, \\ Ad(k) \end{cases}$$

$$\tilde{\varepsilon}(k) = \alpha_{зад} - \alpha(k),$$

$$0 < smooth < |\alpha_{зад} - \alpha_0|,$$

где Sp_{\max} – максимальная скорость поворота лопастей винта [градусы в секунду] (полагаем, что минимальная скорость поворота равна $-Sp_{\max}$); $\hat{T}^*(k)$ – оценка значения крутящего момента двигателя в момент времени t_k [отн. ед.]; T_{\min}, T_{\max} – минимальное и максимальное допустимые значения крутящего момента двигателя соответственно [отн. ед.]; TOL – погрешность [отн. ед.] (регулятор начинает изменять скорость поворота лопастей только когда значение крутящего момента близко к максимально или минимально допустимым

значениям на величину TOL); $\hat{\varepsilon}(k)$ – ошибка рас- согласования [градусы]; smooth значение позволяет «гладко» изменять скорость поворота лопастей винта, когда текущий угол поворота находится близко от заданного (с помощью уменьшения управляюще- го воздействия на величину отклонения текущего значения угла от заданного).

Система судна подвергнута внутренним воз- мущениям, которые могут быть описаны изменени- ем компонент матриц параметров системы.

С физической точки рассмотрения возмуще- ний предположим, что в определённые моменты времени (табл.1) движущая сила F и скорость судна V увеличиваются на 10%.

Таблица 1. Моменты времени влияния возмущений

Время, сек.	12	19	23
-------------	----	----	----

Таким образом,

$$\Delta_1 = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & -0.1 \frac{|V^*|}{m^*} F_n \end{pmatrix}, \Delta_2 = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0.1 \frac{F^*}{m^*} \end{pmatrix} \quad (4)$$

А матрицы параметров:

$$\bar{A}(k) = A + \Delta_1, \bar{b}(k) = B + \Delta_2,$$

$$\max_{\|\Delta_i\|} \|\Delta_i\| \leq \gamma, i = 1, 2, \quad (5)$$

Радиус устойчивости системы $\gamma_{\max} = 0.444$, размах неопределённостей $\gamma = 5.5 \cdot 10^{-4}$. Таким об- разом, при наличии данных неопределённостей система остаётся устойчивой.

Время влияния возмущений на систему длится 0.005 секунды.

Значение отклонения состояния системы в k-й момент времени от номинального состояния без воз- мущений определяется, как значение квадратичной функции Гамильтона и может быть найдено в виде [1]:

$$H(k) = \frac{1}{2} (x_n(k) x^T(k) - x(k) x_n^T(k)), \quad (6)$$

где $x_n(k)$ – вектор состояния системы, найденный с помощью прогноза на один шаг дискретной мо- дели:

$$x_n(k) = \bar{A}(k-1, x(k-1)) x(k-1) + \bar{B}(k-1, x(k-1)) u(k-1), \quad (7)$$

где $\bar{A}(k-1, x(k-1)), \bar{B}(k-1, x(k-1)), x(k-1), u(k-1)$ – матрицы параметров, вектора пространства состояний и управления в предыдущий ((k - 1)-й) момент времени соответственно.

Для определения интенсивности наложенных возмущений вычисляется сумма Фробениусовых норм разниц матриц параметров:

$$N(k) = norm(\bar{A}_n(k) - \bar{A}(k)) + norm(\bar{B}_n(k) - \bar{B}(k)). \quad (8)$$

$\bar{A}_n(k), \bar{B}_n(k)$ – матрицы системы, найденные по компонентам вектора номинального состояния $x_n(k)$.

$$S(k) = \sqrt{\text{eig}_{\max} \left(\left(\bar{A}(k) + \bar{B}(k) Ad_u(k) \right)^T \left(\bar{A}(k) + \bar{B}(k) Ad_u(k) \right) \right)} \quad (9)$$

Чем меньше значение параметра $S(k)$ тем меньше уровень чувствительности системы к влиянию внутренних возмущений; если $S(k) \geq 1$, то система неустойчива. Таким образом, можно использовать значение $S(k)$ в качестве коэффициента усиления для устойчивого регулятора.

Следовательно, робастное управление может быть сформировано как:

$$R_u(k) = H(k) N(k) S(k), \quad (10)$$

где каждый множитель произведения описан выше.

Значение робастного управления добавляется к адаптивному значению управления, и итоговое значение определяется выражением:

$$\bar{u}(k) = Ad_u(k) + R_u(k). \quad (11)$$

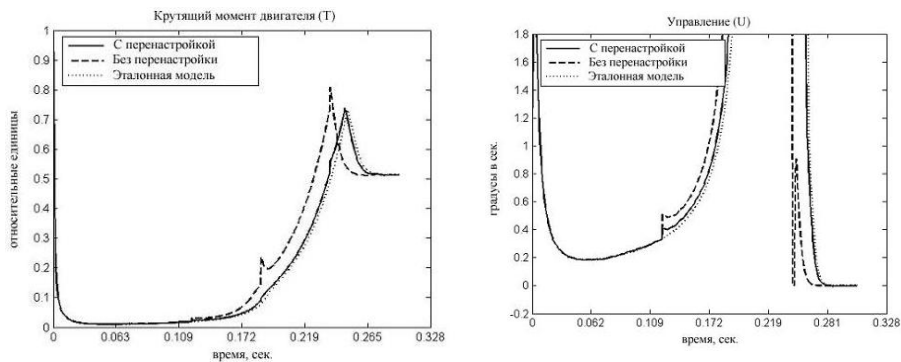


Рис. 3 – Момент двигателя (слева) и скорость поворота лопастей винта судна (справа)

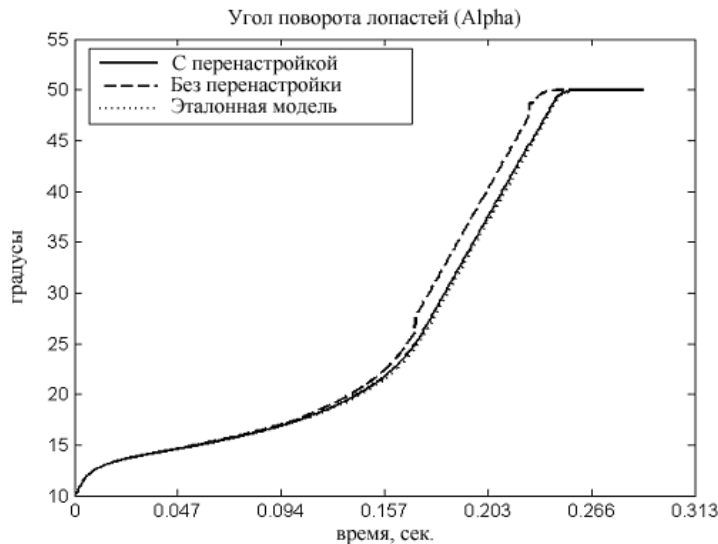


Рис. 4 – Результаты моделирования (угол поворота лопастей винта)

Определены оценки среднеквадратичного отклонения переходных процессов по углу поворота лопастей от эталонной траектории: 2.5353 для алгоритма управления без робастного регулятора и 0.4174 – с ним. Исходя из полученных результатов, можно заключить, что робастная перенастройка

параметров адаптивного регулятора обеспечивает компенсацию влияния возмущений, что свидетельствует о её эффективности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Краснов И.Ю. Adaptive algorithm of robust control for nonlinear non-stationary systems. *Фундаментальные исследования*, 2006. – №2. – С. 38–41.

«Новые измерительные приборы и оборудование»

Бесконтактный измеритель малых зазоров
Космынин А.В., Копытов С.М., Шаломов В.И.
*Комсомольский-на-Амуре государственный
технический университет,
г. Комсомольск-на-Амуре, Россия*

Ёмкостные датчики широко используются для измерения перемещений, диэлектрических проницаемостей, а также как детекторы присутствия. Им свойственна высокая чувствительность и незначительное обратное воздействие на измеряемый параметр, однако их точность невысока.

При исследовании эксплуатационных характеристик газовых подшипников, которые широко проводятся в Комсомольском-на-Амуре ГТУ, стояла задача измерения малых зазоров между вкладышем опоры и поверхностью быстроходного вала в пределах 1...100 мкм по двум каналам с точностью до 1 мкм, в связи с чем, возникла необходимость разра-

ботки специального высокоточного датчика. Поскольку частота вращения вала достигала сотен тысяч оборотов в минуту, то использовать контактные методы измерений зазора не представлялась возможным.

В измерителе применен датчик перемещений емкостного типа, в котором роль одной из обкладок конденсатора играет сам вал, а другая обкладка жестко закреплена на воздушном подшипнике. Поскольку размеры свободной поверхности вала были ограничены, площадь внешней неподвижной обкладки конденсатора выбрана порядка 10 см². Второй обкладкой является открытая поверхность вала, находящаяся в текущий момент под внешней обкладкой. Внешняя обкладка повторяет форму вала. Она закреплена на расстоянии примерно 0,2 мм от вала, что позволило получить значение начальной емкости датчика порядка 50 пФ. Принципиальная схема измерителя приведена на рисунке.

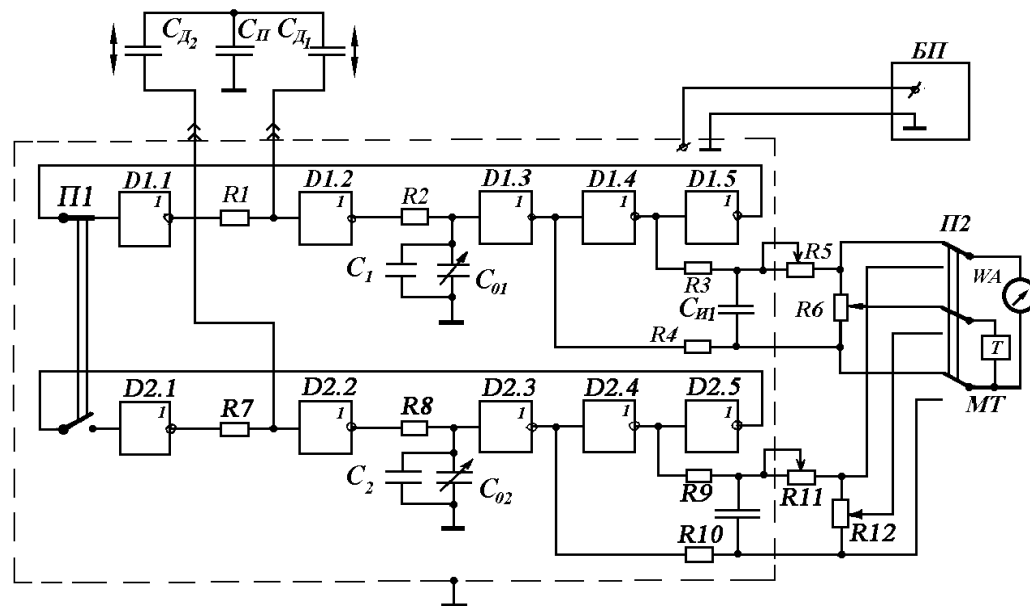


Рисунок 1. Принципиальная схема измерителя малых зазоров

Она включает два одинаковых канала, выводящих результат измерения на общие индикаторные приборы.

Рассмотрим принцип работы первого канала. Ёмкостный датчик СД1 включен во времязадающую цепь положительного импульса мультивибратора на кольцо из пяти логических элементов (инверторов) D1.1-D1.5. Поскольку емкость датчика мала, а частота колебаний высока, в измерителе использованы быстродействующие ТТЛШ микросхемы К1533ЛН1. Увеличенное число инверторов (пять) по

сравнению с минимально необходимым (три) выбрано с целью буферизации времязадающих участков от выходных цепей и с целью симметрирования положительного и отрицательного импульсов.

Длительность положительного импульса определяется времязадающей RC-цепью с постоянной времени $R1CД1$. Емкость датчика СД1 при относительно небольших перемещениях обкладок линейно зависит от расстояния между ними. Во времязадающей цепи отрицательного импульса мультивибратора с постоянной времени $R2(C1+C01)$ находится