

МОДЕЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ СИНТЕЗ КОМБИНИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НЕСТАЦИОНАРНЫМ ОБЪЕКТОМ

С.А. Бобриков

Одесский национальный политехнический университет,
просп. Шевченко, 1, Одесса, 65044, Украина; e-mail: bobrikov1932@gmail.com

Проведен синтез системы управления с использованием двух принципов управления: по отклонению и по возмущающему воздействию. Измерение возмущающего воздействия осуществляется косвенно по модели, в которую входит усилитель мощности – звено первого порядка, и объект управления – звено второго порядка с изменяющимися параметрами. Разработано управляющее устройство, обеспечивающее постоянство показателей качества системы при любых возможных значениях параметров объекта. В качестве изменяющихся параметров в объекте приняты постоянная времени и коэффициент усиления. Динамические свойства процесса управления оцениваются максимальным перерегулированием в переходной характеристике и временем переходного процесса. Регулирование по возмущающему воздействию осуществляется путем сравнения сигналов на выходе объекта управления и на выходе модели. Разность этих сигналов подается на вход усилителя мощности совместно с сигналом ошибки от управляющего устройства. Разработана структурная схема системы управления; устройство управления, обеспечивающее стабильность показателей качества, и компенсирующее устройство, обеспечивающее компенсацию возмущений, приложенных к объекту управления. Разработан метод расчета параметров управляющего устройства и компенсирующего устройства. Рассмотрен пример расчета системы предлагаемым методом. В качестве нестационарного объекта управления принято морское судно, испытующее возмущающие воздействия со стороны волн. Проведено моделирование рассмотренной системы управления, подтвердившее правильность разработанного метода расчета.

Ключевые слова: регулятор, система управления, управление по отклонению, управление по возмущающему воздействию, передаточные функции, моделирование, переходная характеристика, показатели качества управления, объект управления, исполнительный механизм, усилитель, обратная связь

Введение

Известны системы управления объектами, в которых параметры могут изменяться в широких пределах (нестационарные объекты), например, крупнотоннажные морские суда (с грузом и без груза), управляемая ракета и др. Для обеспечения высоких показателей качества процесса управления при построении подобных систем используют методы адаптивного управления, что приводит, как правило, к существенному усложнению управляющего устройства [1-6]. В данной работе рассматривается система управления нестационарным объектом, построенная без использования методов, свойственных адаптивным системам и, вместе с тем, позволяющая получить требуемые показатели качества управления при условии, что параметры объекта управления изменяются в широких пределах ($1 \div 10$).

Для повышения качества управления в данной работе применён принцип комбинированного управления. Комбинированные системы управления, в которых используются одновременно два принципа построения системы: по отклонению и по возмущающему воздействию, позволяют существенно снизить зависимость ошибки управления от того возмущающего воздействия, по которому выполнен канал

воздействия на управляющее устройство. Для реализации такого канала необходимо измерить возмущающее воздействие, что во многих случаях выполнить невозможно. В работе [7] рассмотрен метод оценки величины возмущающего воздействия со стороны внешней среды путем сравнения сигналов на выходе системы управления с сигналом, полученным на выходе модели системы. Следует также отметить, что для систем с комбинированным принципом управления предпринята попытка синтеза, отличительной особенностью которой является использование измерения возмущения по модели объекта [8]. Это позволяет упростить процедуру синтеза, поскольку в модель не включается управляющее устройство. Учитывая подход, предложенный в [8], ниже рассмотрен метод построения комбинированной САУ для объекта, параметры которого могут изменяться в широких пределах, однако, при этом, показатели качества управления остаются в пределах заданных значений. Для выполнения канала воздействия на управляющее устройство возмущений, приложенных к объекту, используется модель, в которую включены усилитель мощности и объект с изменяющимися параметрами.

Цель работы

Целью работы является синтез и моделирование системы управления, с использованием двух принципов управления: по отклонению и по возмущающему воздействию. Принято условие, что параметры объекта могут изменяться в процессе работы системы управления в широких пределах. Система управления должна обеспечить постоянство принятых показателей качества при любых возможных значениях параметров объекта, а также при воздействии на объект возмущений со стороны внешней среды. Для измерения величины воздействия на объект со стороны внешней среды используется модель, в которую включены усилитель мощности и объект управления. Оценка величины воздействия возмущений на объект управления осуществляется путем сравнения сигналов на выходе объекта и на выходе модели. Система управления обеспечивает заданные показатели качества в пределах заданного диапазона изменения параметров объекта. Показателями качества системы управления выбраны максимальное перерегулирование в переходной характеристике и время переходного процесса.

Разработана структурная схема системы управления, устройство управления, обеспечивающее стабильность показателей качества, и компенсирующее устройство, обеспечивающее компенсацию возмущений, приложенных к объекту управления.

Основная часть

Управляющее устройство выполнено по схеме, представленной в работах [9, 10]. Реализация управляющего устройства по указанной схеме обеспечивает работу системы управления нестационарным объектом при сохранении динамических свойств системы для любых значений переменных параметров объекта, изменяющихся в заданных интервалах.

Структурная схема разрабатываемой системы показана на рис.1, где приняты следующие обозначения: $K_{yy}(p)$ – передаточная функция управляющего устройства; $K_{ym}(p)$ – передаточная функция усилителя мощности; $K_{oy}(p)$ – передаточная функция объекта управления; $K_{ym}^1(p)$ – передаточная функция модели усилителя мощности; $K_{oy}^1(p)$ – передаточная функция модели объекта управления; $K_{ky}(p)$ – передаточная

функция компенсирующего звена; $G(p)$ – задающее воздействие; $F(p)$ – возмущающее воздействие, приложенное к объекту управления со стороны внешней среды.

Полагаем, что заданная часть системы (усилитель мощности и объект управления) описываются следующими передаточными функциями: $Y(p)$

$$K_{ум}(p) = K_{ум}^1(p) = \frac{K_1}{T_1 p + 1}, \quad K_{оу}(p) = \frac{K_2}{(T_2 p + 1)p}, \quad K_{оу}^1(p) = \frac{K_{2max}}{(T_{2max} p + 1)p}.$$

Принимаем следующие условия: параметры передаточной функции усилителя мощности заданы и не меняются в процессе работы системы. Параметры объекта управления в процессе работы системы могут принимать значения в заданных интервалах: $K_{2min} \leq K_2 \leq K_{2max} = 10K_{2min}$; $T_{2min} \leq T_2 \leq T_{2max} = 10T_{2min}$.

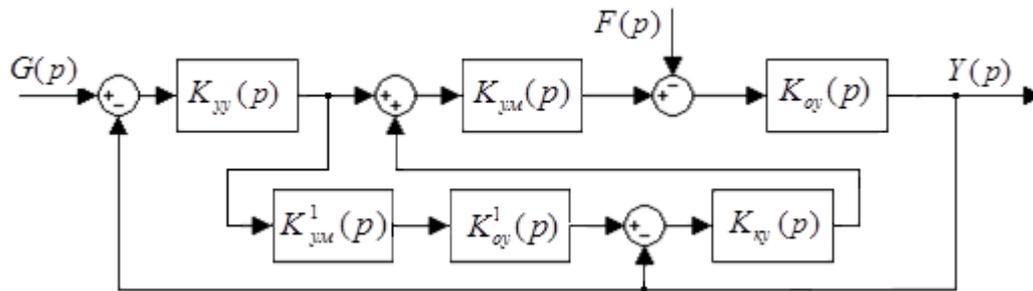


Рис. 1. Структурная схема комбинированной системы управления

Как показано в [9] для системы, заданная часть которой состоит из усилителя (звено первого порядка) с не изменяющимися параметрами и объекта управления (звено второго порядка), параметры которого могут изменяться в пределах (1÷10), управляющее устройство может быть выполнено по схеме, представленной на рис.2.

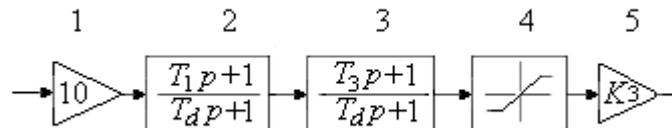


Рис. 2. Структурная схема аналогового управляющего устройства: 1, 5 – усилители; 2, 3 – линейные дифференцирующие звенья; 4 – нелинейность типа «насыщение»

В структурной схеме управляющего устройства (рис. 2) принимаем, что постоянная времени T_1 равна постоянной времени усилителя мощности в заданной части системы. Полагаем, что этот параметр в процессе работы системы не меняется. Постоянная времени T_3 и коэффициент K_3 определяются по заданным параметрам объекта управления (см. далее). Постоянные времени T_d введены для обеспечения физической реализуемости управляющего устройства. Их величина должна быть на порядок меньше наименьшей постоянной времени в заданной части системы, при этом наличие в звене этих постоянных времени практически не сказывается на динамических свойствах системы. В нелинейном звене 4 (реализующее нелинейность типа «насыщение») линейная часть имеет коэффициент 1, а насыщение наступает при входной величине, равной ± 1 .

Рассмотрим замкнутый контур (рис. 1), образованный главной обратной связью, включающий устройство управления и заданную часть системы. Структурная схема этого контура с аналоговым регулятором приведена на рис. 3.

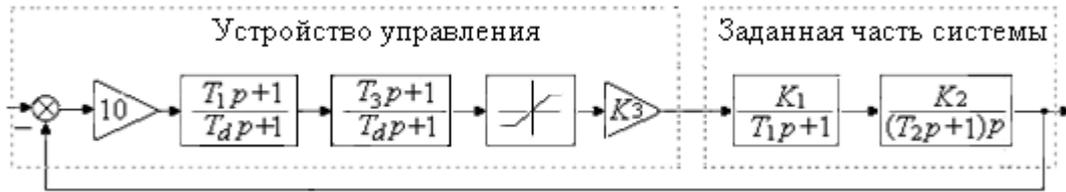


Рис. 3. Структурная схема замкнутого контура с аналоговым регулятором

Передаточная функция разомкнутого контура (без учета нелинейного звена) равна:

$$K_{\text{разл}}(p) = \frac{10(T_1p+1)(T_3p+1)K_3K_1K_2}{(T_d p+1)^2(T_1p+1)(T_2p+1)p} = \frac{(T_3p+1)K_c}{(T_d p+1)^2(T_2p+1)p}, \quad (1)$$

где $K_c = 10K_1K_2K_3$.

Данная система является существенно нелинейной с нелинейностью типа «насыщение». Устойчивые автоколебания в такой системе возникают, если линейная часть (с учетом коэффициента в линейной части характеристики нелинейного звена) неустойчива. Условие устойчивости линейной части системы (а, значит, и условие отсутствия автоколебаний в нелинейной системе) определим, используя алгебраический критерий устойчивости линейных систем (критерий Гурвица). Для этого определим передаточную функцию замкнутого контура (без учёта насыщения), а затем характеристическое уравнение замкнутого контура.

Передаточная функция замкнутого контура равна:

$$K_{\text{замл}}(p) = \frac{K_{\text{разл}}(p)}{1 + K_{\text{разл}}(p)} = \frac{(T_3p+1)K_c}{(T_d p+1)^2(T_2p+1)p + (T_3p+1)K_c}.$$

Характеристическое уравнение замкнутого контура имеет вид:

$$(T_d p+1)^2(T_2p+1)p + (T_3p+1)K_c = 0.$$

Сделав соответствующие преобразования, приведём характеристическое уравнение замкнутой системы к виду:

$$a_0p^4 + a_1p^3 + a_2p^2 + a_3p + a_4 = 0,$$

где $a_0 = T_d^2T_2$; $a_1 = 2T_dT_2 + T_d^2$; $a_2 = T_2 + 2T_d$; $a_3 = 1 + T_3K_c$; $a_4 = K_c$.

В соответствии с критерием Гурвица условие устойчивости определяется следующими неравенствами:

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & 0 \\ a_0 & a_2 & a_4 \\ 0 & a_1 & a_3 \end{vmatrix} > 0; \quad \Delta_2 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 \\ a_0 & a_2 \end{vmatrix} > 0. \quad (2)$$

Подставив значения коэффициентов характеристического уравнения в неравенства (2), а также выполнив ряд преобразований и упрощений, находим условие устойчивости для коэффициента усиления K_c :

$$K_c < \frac{2T_{2\min}}{T_d T_3} + \frac{4}{T_3} \approx \frac{2T_{2\min}}{T_d T_3} = K_{\text{скр}}. \quad (3)$$

В управляющем устройстве неизвестными параметрами являются постоянная времени T_3 и коэффициент усиления K_3 . Величины этих параметров определяются из условия, что регулятор должен обеспечить заданные динамические свойства системы при изменении параметров объекта в процессе нормальной работы системы в заданных интервалах: $K_{2\min} \leq K_2 \leq K_{2\max}, T_{2\min} \leq T_2 \leq T_{2\max}$.

В качестве заданных динамических свойств принимаем минимальное перерегулирование в переходной характеристике ($\sigma_{\max} \leq 5\%$), и время регулирования $t_p \leq T_{2\max}$. Время регулирования определим, как интервал времени от начала подачи на вход системы единичного ступенчатого сигнала до момента, после которого ошибка управления не превышает 5%.

Величина постоянной времени T_3 определяется по заданной величине $T_{2\min}$ с использованием графиков, приведенных на рис.4 [10]. Графики на рис.4 построены при условии, что $K_c = 100$. В рассматриваемом случае максимальное перерегулирование не превышает 5%, а время регулирования $t_p \leq T_{2\max}$. Экспериментально установлено, что уменьшение коэффициента усиления в 10 раз и увеличение постоянной времени объекта в 10 раз практически не влияет на показатели качества системы.

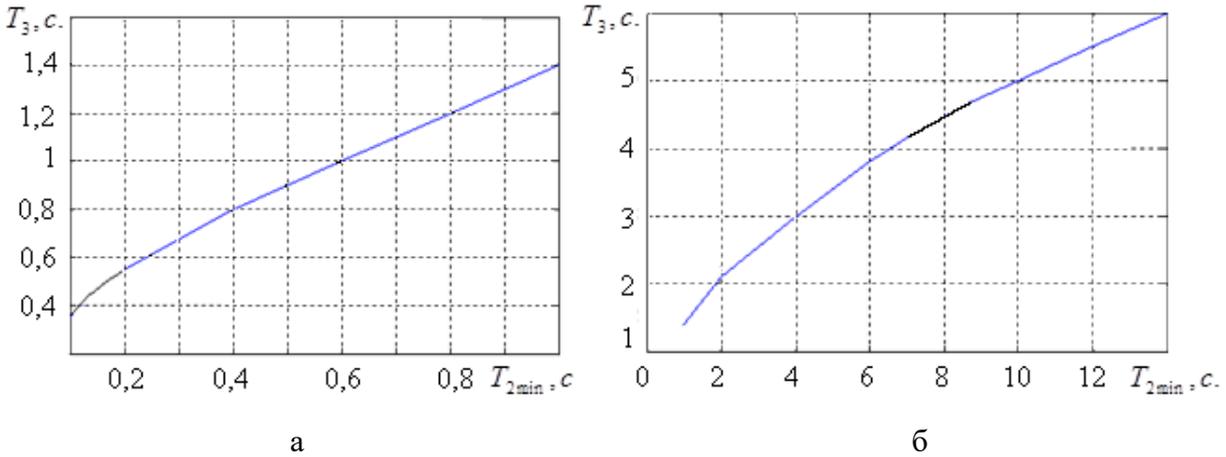


Рис. 4. Зависимость T_3 от минимального значения постоянной времени объекта управления $T_{2\min}$: а – $0,1 \leq T_{2\min} \leq 1$; б – $1 \leq T_{2\min} \leq 14$

Коэффициент усиления регулятора K_3 определяем из (1), принимая условие, при котором построены графики на рис.4: $K_c = 10K_3K_1K_{2\max} = 100$. Отсюда следует:

$$K_3 = \frac{10}{K_1 K_{2\max}}. \quad (4)$$

После определения коэффициента K_3 необходимо проверить выполнение условия устойчивости (3): $K_{кр} > 10K_3K_1K_{2max} = 100$.

Экспериментальным путем определено, что передаточные функции модели заданной части системы должны быть следующими:

$$K_{ym}^1(p) = \frac{K_1}{T_1p + 1}; \quad K_{oy}^1(p) = \frac{K_{2max}}{(T_{2max}p + 1)P}.$$

Для определения передаточной функции компенсирующего устройства рассмотрим замкнутый контур, включающий компенсирующее устройство и заданную часть системы (рис.1). Передаточная функция этого контура в разомкнутом состоянии равна $K_{раз2}(p) = K_{ky}(p)K_{ym}(p)K_{oy}(p) = K_{ky}(p) \frac{K_1K_2}{(T_1p + 1)(T_2p + 1)p}$.

Принимаем передаточную функцию компенсирующего устройства следующего вида:

$$K_{ky}(p) = \frac{K_{ky}(T_1p + 1)(T_{2max}p + 1)}{(T_dp + 1)(T_dp + 1)}. \quad (5)$$

Постоянные времени T_d в знаменателе (5) необходимы для обеспечения физической реализуемости звена. Передаточная функция разомкнутого контура, в который входит компенсирующее устройство, при этом принимает вид:

$$K_{раз2}(p) = K_{ky}(p)K_{ym}(p)K_{oy}(p) = \frac{K_{ky}(T_1p + 1)(T_{2max}p + 1)K_1K_2}{(T_dp + 1)^2(T_1p + 1)(T_2p + 1)p} = \frac{K_{ky}K_1K_2(T_{2max}p + 1)}{(T_dp + 1)^2(T_2p + 1)p}.$$

Характеристическое уравнение этого контура в замкнутом состоянии равно:

$$(T_dp + 1)^2(T_2p + 1)p + K_{ky}K_1K_2(T_{2max}p + 1) = 0.$$

После соответствующих преобразований характеристическое уравнение замкнутого контура получает вид: $b_0p^4 + b_1p^3 + b_2p^2 + b_3p + b_4 = 0$, где $b_0 = T_d^2T_2$; $b_1 = 2T_dT_2 + T_d^2$; $b_2 = T_2 + 2T_d$; $b_3 = 1 + K_{ky}K_1K_2T_{2max}$; $b_4 = K_{ky}K_1K_2$.

Используя условия устойчивости для системы четвертого порядка (2), проделав ряд вычислений и упрощений, получаем оценку критического значения коэффициента усиления компенсирующего устройства:

$$K_{ky} < \frac{0,2}{T_dK_1K_{2max}} = K_{kykp} \quad (6)$$

Пример. В качестве объекта управления рассмотрим морское судно водоизмещением 62000 т. Передаточные функции линейной части исполнительного устройства (рулевая машина) и объекта управления имеют вид [6]:

$$K_{ym}(P) = \frac{1}{3P + 1}; \quad K_{oy}(P) = \frac{K_0}{(T_0P + 1)P}.$$

Как показано в [6], судно в системе управления является нестационарным объектом. Нестационарные параметры – коэффициент усиления и постоянная времени объекта, значения которых изменяются в диапазоне $14 \leq T_0 \leq 140(\text{с.})$, $1,2 \times 10^{-2} \leq K_0 \leq 12 \times 10^{-2}$. Параметры зависят от скорости судна, степени его загрузки, а также от угла поворота пера руля.

Определим параметры управляющих элементов системы управления.

Управляющее устройство. По графику на рис.4 для $T_{2\min} = 14$ определяем – $T_3 = 6$.

Критическое значение общего коэффициента усиления (3) равно:

$$K_{\text{кр}} = \frac{2T_{2\min}}{T_d T_3} = \frac{2 \times 14}{0,01 \times 6} = 467 .$$

Условие устойчивости выполнено.

Коэффициент усиления K_3 в управляющем устройстве равен (4):

$$K_3 = \frac{10}{1 \times 0,12} = 83.$$

Передаточные функции модели заданной части системы:

$$K_{\text{ум}}^1(p) = \frac{1}{3p+1}; \quad K_{\text{оу}}^1(p) = \frac{0,12}{(140p+1)P} .$$

Схема модели в системе Simulink приведена на рис. 5.

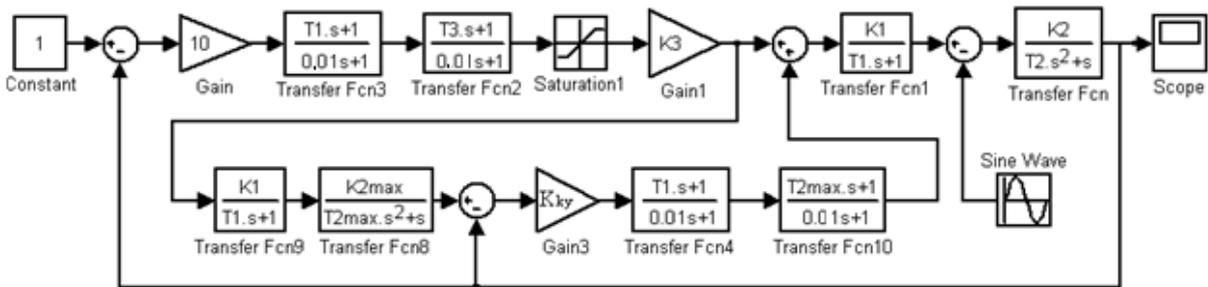


Рис.5. Схема модели системы в пакете Simulink

Компенсирующее устройство. Коэффициент усиления компенсирующего устройства принимаем $K_{ky} = 100$.

Определим критическое значение коэффициента усиления компенсирующего устройства (6):

$$K_{\text{кыр}} = \frac{0,2}{T_d K_1 K_{2\max}} = \frac{0,2}{0,01 \times 1 \times 0,12} = 167.$$

Очевидно, что условие устойчивости выполнено.

При моделировании рассмотрены два режима работы системы:

– определение переходных характеристик при различных комбинациях предельных значений параметров объекта управления;

– работа комбинированной системы управления при наличии возмущающего воздействия на объект управления в виде синусоидальных колебаний.

Результаты моделирования приведены на рис. 6 и рис. 7. На графиках рис. 6 видно, что изменение параметров объекта в принятых диапазонах их значений практически не влияет на вид переходной характеристики. Заданные условия по показателям качества выполнены: перерегулирование меньше 5% (практически отсутствует), время переходного процесса не превышает $T_{2\max}$.

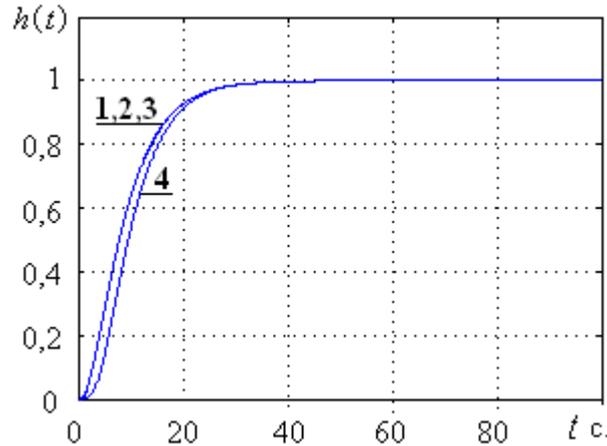


Рис. 6. Переходные характеристики при различных значениях параметров объекта: 1 – $K_2 = 0,12; T_2 = 140\text{с.}$; 2 – $K_2 = 0,12; T_2 = 14\text{с.}$; 3 – $K_2 = 0,012; T_2 = 14\text{с.}$; 4 – $K_2 = 0,012; T_2 = 140\text{с.}$

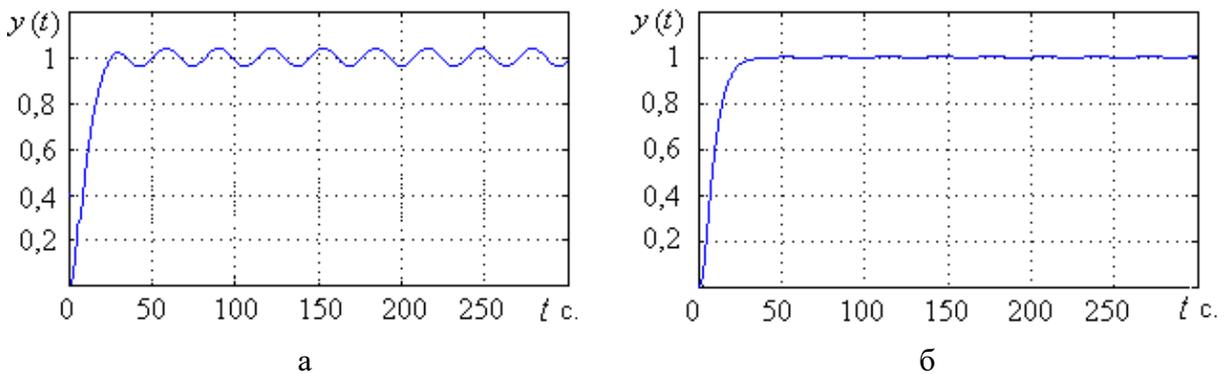


Рис.7. Результат моделирования: а – компенсирующее устройство отключено; б – компенсирующее устройство включено

На рис. 7 приведены результаты моделирования системы при условии, что к объекту приложено синусоидальное возмущающее воздействие. Рассмотрено два случая: а – компенсирующее устройство отключено, б – компенсирующее устройство включено. Приведенные графики подтверждают высокую эффективность рассмотренного метода компенсации возмущающих воздействий, приложенных к объекту управления со стороны внешней среды.

Выводы

Разработано управляющее устройство для нестационарного объекта с использованием комбинированного принципа построения систем автоматического управления: управление по ошибке и управление по возмущающему воздействию. Для

измерения возмущающего воздействия использована модель заданной части системы, включающая усилитель мощности с не изменяющимися параметрами и объект управления, параметры которого могут изменяться при работе системы в пределах $(1 \div 10)$. Разработан метод расчета управляющего устройства для нестационарного объекта, обеспечивающий заданные показатели качества управления при любых возможных значениях параметров объекта. В качестве показателей принято максимальное перерегулирование в переходной характеристике и время переходного процесса.

Для измерения возмущающих воздействий, приложенных к объекту, использована модель заданной части системы. Разработана структурная схема компенсирующего устройства и метод расчета его параметров.

Проведены экспериментальные исследования разработанной системы управления путем моделирования в системе MATLAB-Simulink. Результаты моделирования подтвердили корректность разработанного метода расчета элементов системы управления.

Список литературы

1. Ядыкин, И.Б. Оптимальное адаптивное управление на основе беспойсковой самонастраивающейся системы с обучаемой эталонной моделью / И.Б. Ядыкин // Автоматика и телемеханика. — 1979. — № 2. — С. 65- 79.
2. Уткин, В.А. Задача слежения в линейных системах с параметрическими неопределенностями при неустойчивой нулевой динамике / В.А. Уткин, А.В. Уткин // Автоматика и телемеханика. — 2014. — № 9. — С. 45- 64.
3. Рутковский, В.Ю. Стабилизация упругих колебаний конструкции крупногабаритных спутников с переменными параметрами методами адаптации / В.Ю. Рутковский, В.М. Суханов, В.М. Глузов // Автоматика и телемеханика. — 2011. — № 12. — С. 91 -103.
4. Земляков, С.Д. Алгоритм функционирования адаптивной системы с эталонной моделью, гарантирующий заданную динамическую точность управления нестационарным динамическим объектом в условиях неопределенности / С.Д. Земляков, В.Ю. Рутковский // Автоматика и телемеханика. — 2009. — № 10. — С. 35- 44.
5. Глузов, В.М. Адаптивное управление ориентацией деформируемых космических аппаратов с изменяющимися параметрами / В.М. Глузов, В.Ю. Рутковский, В.М. Суханов // Автоматика и телемеханика. — 1999. — № 4. — С. 90-102.
6. Кринецкий, И.И. Исследование автоматического управления курсом судна с учетом нелинейных характеристик системы / И.И. Кринецкий, Е.Д. Пичугин // Судовождение и связь. Труды ЦНИИ морского флота. — Л.: Транспорт. — 1967. — №.83. — С. 13-16.
7. Бобриков, С.А. Компенсация возмущений с использованием модели системы автоматического управления для измерения возмущений / С.А. Бобриков, Е.Д. Пичугин // Электротехнические и компьютерные системы. — К.: Техніка. — 2011. — № 04 (80). — С. 15-18.
8. Бобриков, С.А. Синтез и моделирование комбинированной системы управления с измерением возмущения по модели объекта / С.А. Бобриков, Е.Д. Пичугин, А.Г. Кисель // Информатика и математические методы в моделировании. — 2018. — Т. 8, №1. — С. 48-55.
9. Бобриков, С.А. Синтез и моделирование регулятора для объекта с изменяющимися параметрами / С.А. Бобриков, Е.Д. Пичугин, С.И. Кысса // Информатика и математические методы в моделировании. — 2017. — Т. 7, №1-2. — С. 54- 61.
10. Бобриков, С.А. Синтез и моделирование цифрового управляющего устройства для нестационарного объекта / С.А. Бобриков, Е.Д. Пичугин, Н.Н. Дикий // Информатика и математические методы в моделировании. — 2017. — Т. 7, №3. — С. 220- 227.
11. Батоврин, А.А. Цифровые следящие системы судовой автоматики / А.А. Батоврин, П.Г. Дашевский, В.Д. Лебедев и др. — Л.: Судостроение, 1972. — 445 с.

МОДЕЛЬНО-ОРІЄНТОВАНИЙ СИНТЕЗ КОМБІНОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НЕСТАЦІОНАРНИМ ОБ'ЄКТОМ

С.О. Бобріков

Одеський національний політехнічний університет,
просп. Шевченко, 1, Одеса, 65044, Україна; e-mail: bobrikov1932@gmail.com

Проведено синтез системи управління з використанням двох принципів управління: по відхиленню і по впливі, що обурює. Вимірювання впливу, що обурює, здійснюється побічно по моделі, в яку входить підсилювач потужності - ланка першого порядку і об'єкт управління - ланка другого порядку зі змінними параметрами. Розроблено пристрій, що управляє, забезпечує сталість показників змінюються якості системи при будь-яких можливих значеннях параметрів об'єкта. Як параметрів в об'єкті прийняті постійна часу і коефіцієнт посилення. Динамічні характеристики процесу управління оцінюються максимальним перерегулюванням в перехідній характеристиці і часом перехідного процесу. Регулювання по впливі, що обурює, здійснюється шляхом порівняння сигналів на виході об'єкта управління і на виході моделі. Різниця цих сигналів подається на вхід підсилювача потужності спільно з сигналом помилки від керуючого пристрою. Розроблено структурну схему системи управління, пристрій управління, що забезпечує стабільність показників якості, і компенсуючий пристрій, що забезпечує компенсацію збурень, прикладених до об'єкта управління. Розроблено метод розрахунку параметрів керуючого пристрою і компенсуючого пристрою. Розглянуто приклад розрахунку системи пропонованим методом. Як нестационарного об'єкта управління прийнято морське судно, допитливим впливи з боку хвиль. Проведено моделювання розглянутої системи управління, яке підтвердило правильність розробленого методу розрахунку.

Ключові слова: регулятор, система управління, управління по відхиленню, управління по впливі, що обурює, передавальні функції, моделювання, перехідна характеристика, показники якості управління, об'єкт управління, виконавчий механізм, підсилювач, зворотний зв'язок

MODEL-ORIENTED SYNTHESIS OF COMBINED CONTROL SYSTEM OF A NON-STATIONARY OBJECT

S.A. Bobrikov

Odesa National Polytechnic University,
1 Shevchenko Ave., Odesa, 65044, Ukraine; e-mail: bobrikov1932@gmail.com

The control system is synthesized using two control principles: deviation and perturbation. Measurement of the disturbing effect is indirectly done by the model, which includes the power amplifier - a first-order link and the control object - a second-order link with varying parameters. A control device has been developed that ensures the consistency of the system quality indicators for any possible values of the object parameters. As the changing parameters in the object, a time constant and a gain factor are adopted. The dynamic properties of the control process are estimated by the maximum overshoot in the transient response and the transient time. Regulation on the disturbing effect is carried out by comparing the signals at the output of the control object and at the output of the model. The difference of these signals is fed to the input of the power amplifier together with the error signal from the control device. A structural diagram of the control system, a control device providing the stability of quality indicators, and a compensating device providing compensation of the disturbances applied to the control object are developed. A method for calculating the parameters of a control device and a compensating device has been developed. An example of calculation of the system by the proposed method is considered. As a non-stationary control object, a sea vessel is tested, which tests perturbing influences from the waves. A simulation of the control system examined, which confirmed the correctness of the developed calculation method, was carried out.

Keywords: regulator, control system, deviation control, perturbation control, transfer functions, simulation, transient response, control quality indicators, control object, actuator, amplifier, feedback