

Отсюда получаем искомый закон управления:

$$u_1 = \frac{\alpha_1^{-1} I_{1\Delta} \Delta_{1-\sum_{i=1}^n \lambda_i z_i}}{\sum_{i=1}^n c_i}, \quad (26)$$

где предполагается, что $\sum_{i=1}^n c_i \neq 0$.

Выводы. На основе предложенного критериального условия (14) разработана методика синтеза САУ программным движением одномерного объекта, описываемого передаточной функцией. Данная методика естественным образом обобщается на случай многомерных линейных систем.

Список литературы

1. Понтрягин Л.С., Болтянский В.Г., Гамкрелидзе Р.В., Мищенко Е.Ф. Математическая теория оптимальных процессов. – М.: Наука, 1976. – 392 с
2. Красовский Н.Н. Теория управления движением. – М.: Наука, 1968. – 473 с.
3. Тимофеев А.В. Построение адаптивных систем управления программным движением. – Л.: Энергия, 1980. – 88с.
4. Фрадков А.Л. Адаптивное управление в сложных системах. – М.: Наука, 1990.
5. Емельянов С.И., Уткин В.И., Таран В.А. и др. Теория систем с переменной структурой. – М.: Наука, 1970. – 592 с.
6. Построение систем программного движения /Под ред. А.С. Галилулина. – М.: Наука, 1971. – 352 с.
7. Крутько П.Д. Обратные задачи динамики управляемых систем: Линейные модели. – М.: Наука, 1987. – 307 с.
8. Porter B., Crossley T.R. Modal Control. – London: Taylor & Francis, 1972.
9. Оморов Т.Т., Кожекова Г.А. Синтез систем управления многомерными объектами по критериальным ограничениям // Известия НАН КР. – 2009.–№1–С.45–51.

References

1. L.S. Pontryagin, VG Boltvanskii, RV Gamkrelidze, EF Mishchenko Matematicheskaya teoriya optimal'nykh prosessov. [The mathematical theory of optimal processes.] - M.: Nauka, 1976.- 392 p.
2. N.N. Krasovskii. Teoriya upravleniya dvizheniyem. [Theory of motion control] M.: Nauka 1968. - 473 p.
3. A.V. Timofeev. Postroyeniye adaptivnykh sistem upravleniya programmnyy dvizheniyem. [Building adaptive systems management software movement.] - L.: Energy, 1980. - 88с.
4. A.L. Fradkov Adaptivnoye upravleniye v slozhnykh sistemakh. [Adaptive management in complex systems.] - M.: Nauka, 1990.
5. S.I. Emelyanov, V.I. Utkin, V.A. Taran and others. Teoriya sistem s peremennoy strukturoy [The theory of variable structure systems.] - M.: Nauka, 1970. - 592 p.
6. Postroyeniye sistem programmnoy dvizheniya [Construction of system software movement] / Ed. AS Galitulina. - M.: Nauka, 1971. - 352 p.
7. Krut'ko P.D. Obratnyye zadachi dinamiki upravlyayemykh sistem: Lineynyye modeli. [Inverse problems of the dynamics of controlled systems: Linear models.] - M.: Nauka, 1987, - 307 p.
8. Porter B., Crossley T.R. Modal Control. - London: Taylor & Francis, 1972.
9. Omorov T.T., Kozhekova G.A. Sintez sistem upravleniya mnogomernymi ob'yektami po kriterial'nyy ogranicheniyam. [Synthesis of control systems multidimensional objects by criteria restrictions] // Proceedings of National Academy of Sciences. - 2009.-№1.-p.45-51.

УДК 681.5

СИНТЕЗ УПРАВЛЯЮЩИХ ПОДСИСТЕМ ДЛЯ ОДНОГО КЛАССА ОБЪЕКТОВ УПРАВЛЕНИЯ

Курманалаева Роза Насбековна, к.т.н., доцент, КГУСТА им. Н Исанова, Кыргызстан, 720020, ул.Малдыбаева, 36б, nas.roza@mail.ru

Осмонова Рима Чынарбековна, Национальная академия наук, Кыргызстан, 720071, г.Бишкек, пр. Чуй, 265а, r.osmonova@mail.ru

Оморов Туратбек Турсунбекович, член-корреспондент Национальной академии наук, Кыргызстан, 720071, г.Бишкек, пр. Чуй, 265а, omorovtt@mail.ru

Цель статьи - решение задачи автоматического регулирования одного класса объектов, обладающих определенными особенностями. Предлагается алгоритм синтеза законов управления такими объектами, использующими широко - импульсную модуляцию управляющих сигналов.

Ключевые слова: объект управления, управляющая подсистема, широтно-импульсная модуляция, качество управления, синтез закона управления

SYNTHESIS OF CONTROL SUBSYSTEMS FOR A ONE CLASS OF CONTROL OBJECTS

Kurmanalaieva Roza Nasbekovna, PhD (Engineering), Associate Professor, KSUCTA named after N. Isanova, 265a Chui str., c.Bishkek, 720071, Kyrgyzstan, e-mail: nas.roza@mail.ru

Osmonova Rima Chynarbekovna, National Academy of Science, 265a Chui str., c.Bishkek, 720071, Kyrgyzstan, e-mail: r.osmonova@mail.ru

Omorov Turatbek Tursunbekovich, corresponding member, National Academy of Science, 265a Chui str., c.Bishkek, 720071, Kyrgyzstan, e-mail: omorovtt@mail.ru

The purpose of the article is tasks solution automatic regulator of a class objects with certain characteristics. Propose an algorithm synthesis of control laws such objects using pulse width modulation control signals.

Keywords: facility management, control subsystem, pulse width modulation, quality control, the synthesis of the control law

В практике автоматизации технических систем и технологических процессов можно выделить класс объектов управления, имеющих следующие особенности:

1. Технические особенности формирования управляющего сигнала $u_1(t)$ на объект (рис.1). Они заключаются в том, что закон управления $u_1(t)$ представляет собой последовательность прямоугольных импульсов с постоянной амплитудой u_1^* ($u_1^* = const$). Целенаправленное управление выходом объекта $y_1(t)$ достигается за счет варьирования длительностей управляющих импульсов в соответствии с критериальными условиями, т.е. процесс управления осуществляется на основе широтно-импульсной модуляции управляющего сигнала [5]:

$$u_1(t) = u_1^* \sum_{v=0}^{N-1} [1(t - t_v) - 1(t - t_v - \tau_v)], \quad (1)$$

$$t \in [t_0, t_k],$$

где $1(t)$ - единичная ступенчатая функция; t_v - момент начала v -го импульса; τ_v - длительность v -го импульса ($t_v + \tau_v < t_{v+1}$); t_0, t_k - моменты начала и окончания процесса управления; N - количество импульсов в интервале управления $[t_0, t_k]$.

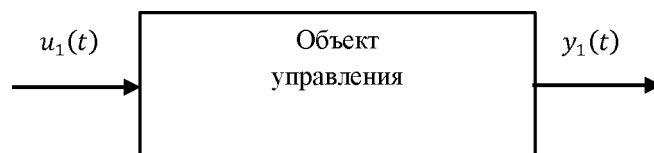


Рис.1. Обобщенная схема одномерного объекта

2. Динамические особенности объекта. Они состоят в том, что при отключении управляющего импульса выходная переменная объекта $y_1(t)$ за счет накопленной энергии по инерции имеет тенденцию возрастания до максимума, а затем убывает до уровня, при котором качество управления становится недопустимым. Поэтому с целью поддержания управляемой переменной $y_1(t)$ на заданном (желаемом) уровне y_1^* необходимо формировать следующий импульс управления, который должен отключаться при достижении выхода объекта $y_1(t)$ заданной окрестности желаемого уровня y_1^* .

Примерами таких управляемых систем являются энергетические объекты, в которых протекают тепловые процессы, а также механические системы с моментами инерции движущихся масс.

Управление объектами с указанными выше особенностями целесообразно осуществлять так, чтобы в интервалах, когда $y_1(t) \geq y_1^*(t)$, необходимо отключение подачи управляющих воздействий $u_1(t)$, а при $y_1(t) < y_1^*$ - возобновление их подачи.

Диаграммы, показанные на рис.2 (а, в), иллюстрируют один из возможных вариантов процесса управления с широтно-импульсной модуляцией управляющего воздействия $u_1(t)$.

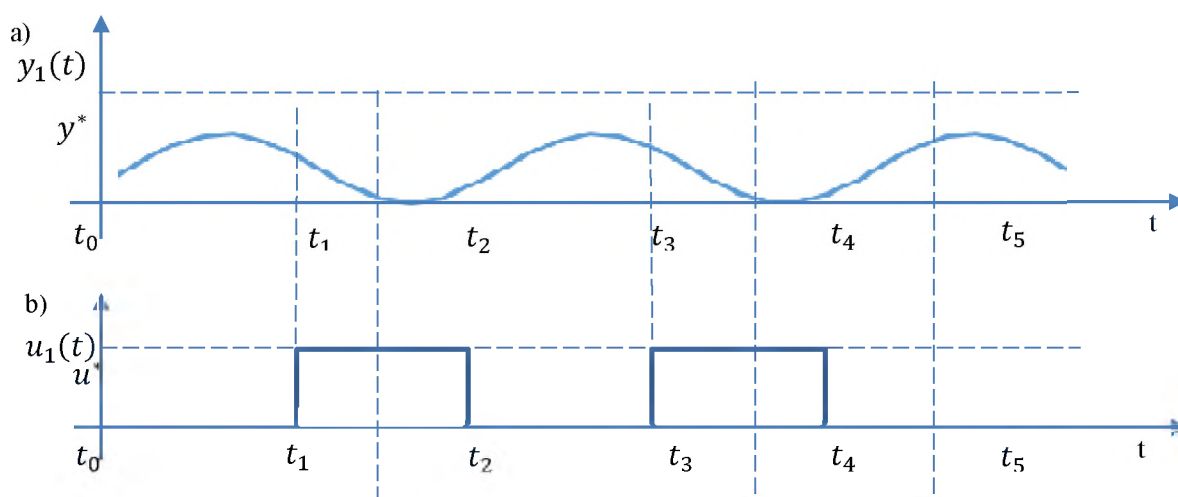


Рис.2. Иллюстрация процесса управления объектом с широтно-импульсной модуляцией $u_1(t)$

Синтез управляющей подсистемы (регулятора) на основе традиционных методов расчета систем автоматического управления (САУ) [1-4] в таких случаях представляет определенные трудности.

Далее рассмотрим задачу синтеза регулятора САУ одномерным объектом, обладающим вышеперечисленными свойствами.

Предположим, что динамика объекта управления описывается векторным уравнением в отклонениях:

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) &= Ax(t) + bu_1(t) + \xi(t), \\ x^0 &= x(t_0), \quad t \in [t_0, t_k], \end{aligned} \quad (2)$$

где $x(t) = [x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)]^T$ - n -мерный вектор состояния; $u_1(t)$ - скалярное управляющее воздействие; x^0 - начальное состояние объекта; $\xi(t)$ - n -мерный вектор возмущения; матрица A и вектор b считаются известными:

$$A = \{a_{ij}\}_{n \times n}, \quad b = [b_1, b_2, \dots, b_n]^T.$$

Управляемая переменная $y_1(t)$ связана с вектором состояния $x(t)$ следующим соотношением:

$$y_1(t) = cx(t), \quad (3)$$

где $c = [c_1, c_2, \dots, c_n]$ - заданный n -мерный вектор.

Формирование закона управления $u_1(t)$ будет осуществляться регулятором (управляющей подсистемой) на основе обратной связи (рис.3):

$$u_1(t) = F_1[e_1(t)], \quad (4)$$

где ошибка управления

$$e_1(t) = y_1^* - y_1(t). \quad (5)$$

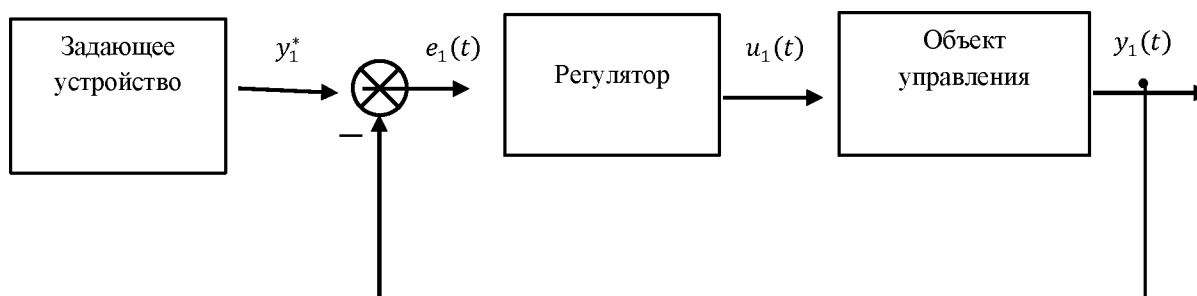


Рис.3. Общая структура системы управления

Качество управления (стабилизации) определяется максимальной ошибкой управления:

$$e_1^{max} = \max_t |e_1(t)|, \quad t \in [t_0, t_k]. \quad (6)$$

Далее предполагается, что объект управления (2) обладает свойством управляемости и наблюдаемости, а компоненты векторов состояния $x(t)$ и возмущения $\xi(t)$ доступны для измерения. Будем считать, что задана следующая исходная информация для динамического проектирования системы автоматического управления (САУ):

1. Цель управления в виде задающего воздействия y_1^* ($y_1^* = const$).
2. Модель объекта управления в переменных состояния (2).
3. Функциональная связь между выходом объекта $y_1(t)$ и вектором состояния $x(t)$, определяемая формулой (3).
4. Требования к точности управления (стабилизации):

$$e_1^{max} \leq \Delta_1^{max}, \tag{7}$$

где Δ_1^{max} – максимально допустимое значение ошибки управления $e_1(t)$.

Задача синтеза управляющей подсистемы формулируется следующим образом. На основе данных, перечисленных в п. 1-4, необходимо определить структуру и параметры закона управления $u_1(t)$, обеспечивающего выполнение критериального условия (7).

Необходимо отметить, что отмеченные выше особенности рассматриваемого класса объектов в ряде случаев дают возможность упростить решение сформулированной задачи синтеза регулятора. Найдем условия, при выполнении которых такое упрощение возможно.

Упрощенный синтез закона управления. Анализ переходного процесса по управляемой переменной $y_1(t)$ с учетом указанного выше свойства объекта показывает, что в интервалах, когда $e_1(t) < 0$, необходимость подачи на объект управляющего импульса отсутствует, а в интервалах, когда $e_1(t) \geq 0$ – такая необходимость имеется (рис.2).

В целях формирования критерия управления введем следующую оценочную (штрафную) функцию.

$$S_1(t) = e_1(t) + |e_1(t)| = e_1(t)\{1 + \text{sign}[e_1(t)]\}, \tag{8}$$

где сигнум-функция

$$\text{sign}[e_1(t)] = \begin{cases} 1, & \text{если } e_1(t) > 0, \\ 0, & \text{если } e_1(t) = 0, \\ -1, & \text{если } e_1(t) < 0. \end{cases}$$

Анализ свойств штрафной функции $S_1(t)$, определяемой соотношением (8), показывает, что она для всех $t \in [t_0, t_1]$ является неотрицательной, т.е.

$$S_1(t) = \begin{cases} 2e_1(t), & \text{если } e_1(t) > 0, \\ 0, & \text{если } e_1(t) = 0, \\ 0, & \text{если } e_1(t) < 0. \end{cases}$$

Указанное свойство позволяет аналитически сконструировать закон управления $u_1(t)$ в явной форме:

$$u_1(t) = u_1^* \text{sign}[S_1(t)]. \tag{9}$$

На рис.4 (а, b, с) иллюстрируется процесс формирования закона управления $u_1(t)$. В рассматриваемом случае моменты включения и отключения управляющих импульсов определяются моментами изменения знаков ошибки управления $e_1(t)$, что соответствует моментам времени $t_i (i=1, 2, 3, \dots)$.

Теперь в целях проверки условия требуемого качества управления (7) проведем компьютерное моделирование замкнутой САУ с законом управления (9) и построим соответствующий переходный процесс по ошибке управления $e_1(t)$. В результате будет найден e_1^{max} – максимум модуля ошибки, определяемый соотношением (6).

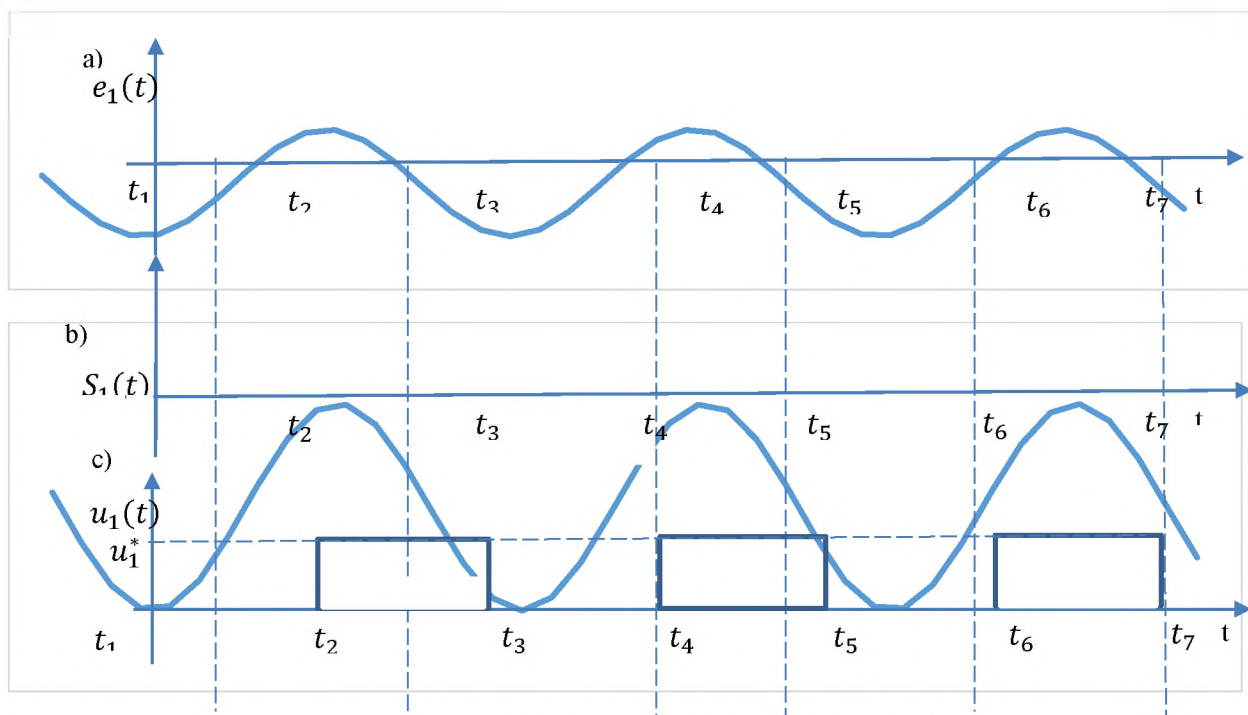


Рис.4. Процесс формирования закона управления $u_1(t)$

При этом возможны следующие случаи:

$$\begin{aligned}
 1) \quad e_1^{max} &\leq \Delta_1^{max}, & t \in [t_0, t_k]; & (10) \\
 2) \quad e_1^{max} &> \Delta_1^{max}, & t \in [t_0, t_k]. & (11)
 \end{aligned}$$

В первом случае закон управления (9) обеспечивает заданное качество управления. Структура соответствующего регулятора приведена на рис.5.

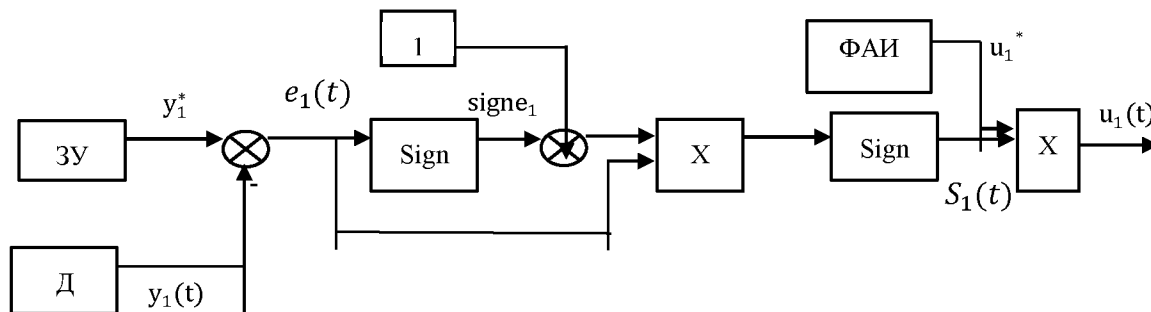


Рис.5. Структура синтезированного регулятора

Здесь ЗУ – задающее устройство; ФАИ – формирователь амплитуды импульсов, Д – датчик выхода объекта.

Во втором случае достижение критериального соотношения (7) возможно на основе прогнозирования переходных процессов по ошибке управления $e_1(t)$. Рассмотрим этот случай.

Синтез упреждающего закона управления. Пусть выполняется условие (11). В этом случае рассмотрим возможность обеспечения заданного качества управления за счет формирования на объекте упреждающего управляющего воздействия $u_1(t) = \hat{u}_1(t)$. Основная идея, используемая для синтеза $\hat{u}_1(t)$, состоит в следующем.

Вводится новая, так называемая прогнозная ошибка управления:

$$\hat{e}_1(t + \tau) = y_1^* - y_1(t + \tau), \quad t \in [t_0, t_k], \quad (12)$$

где τ – малое положительное число, определяющее время упреждения управляющего импульса.

Структура искомого закона управления $\hat{u}_1(t)$ определяется соотношением (9):

$$\hat{u}_1(t) = u^* \text{sign} [\hat{S}_1(t + \tau)], \quad (13)$$

где прогнозная штрафная функция $\hat{S}_1(t + \tau)$ определяется, как и ранее, по следующей формуле:

$$S_1(t + \tau) = \hat{e}_1(t + \tau) + |\hat{e}_1(t + \tau)| = \hat{e}_1(t + \tau) \{1 + \text{sign} \hat{e}_1(t + \tau)\}. \quad (14)$$

При этом для нахождения прогнозной ошибки управления $\hat{e}_1(t + \tau)$ в первом приближении используются уравнения динамики объекта (2) и формула Тейлора [5]:

$$\hat{e}_1(t + \tau) \approx e_1(t) + \dot{e}_1(t)\tau, \quad t \in [t_0, t_k]. \quad (15)$$

где с учетом (2) и (3) производная

$$\dot{e}_1(t) = -c[Ax(t) + \xi(t)]. \quad (16)$$

Оптимальное значение времени упреждения τ можно найти путем компьютерного моделирования системы управления с алгоритмом управления (13) или на основе решения задачи минимизации максимальной величины $|e_1(t)|$ по времени из условия выполнения следующего соотношения:

$$\min_{\tau} \left\{ \max_t |e_1(t)| \right\} \leq \Delta_1^{max}. \quad (17)$$

Следует отметить, что техническая реализация регулятора с законом управления (13) представляет определенные сложности, что связано с необходимостью выполнения вычислительной процедуры для оценки производной ошибки управления $\dot{e}_1(t)$.

В то же время исследование показали, что существует более простой вариант решения рассматриваемой задачи синтеза. Основная идея состоит в следующем. В качестве основы принимается структура регулятора с алгоритмом управления (9), которая приведена на рис.5. В целях достижения эффекта прогнозирования выхода САУ, в структуру управляющей подсистемы дополнительно вводится элемент задержки (ЭЗ) сигнала ошибки управления $e_1(t)$, что дает возможность формировать упреждающий управляющий сигнал $u_1(t) = \tilde{u}_1(t)$ на объект. При этом предварительно вычисляется следующая разность:

$$\varepsilon_1(t) = e_1(t) - e_1(t - \Delta t), \quad (18)$$

где Δt – малое положительное число, определяющее время задержки.

Сигнал $\varepsilon_1(t)$ идентифицирует направления движения ошибки управления $e_1(t)$, поскольку при $\varepsilon_1(t) > 0$ она возрастает, а при $\varepsilon_1(t) < 0$ - убывает. Далее вводится модифицированная (смещенная) ошибка управления:

$$\tilde{e}_1(t) = e_1(t) + \Delta e_1(t). \quad (19)$$

Переменная $\Delta e_1(t)$ определяется на основе сигнала $\varepsilon_1(t)$ по формуле:

$$\Delta e_1(t) = h_1^+ \text{sign}[\varepsilon_1(t)], \tag{20}$$

где h_1^+ - малое положительное число ($h_1^+ \ll \Delta_1^{max}$).

Теперь для синтеза регулятора будем использовать предложенную ранее методику, исходной информацией для которой в данном случае является смещенная ошибка управления $\tilde{e}_1(t)$. При этом соответствующая штрафная функция имеет вид

$$\tilde{S}_1(t) = \tilde{e}_1(t) + |\tilde{e}_1(t)| = \tilde{e}_1(t)\{1 + \text{sign}[\tilde{e}_1(t)]\}. \tag{21}$$

В результате искомым закон управления

$$\tilde{u}_1(t) = u_1^+ \text{sign}[\tilde{S}_1(t)]. \tag{22}$$

Параметр h_1^+ можно определить путем компьютерного моделирования замкнутой САУ.

Структура синтезированного регулятора, имеющего закон управления (22), показана на рис.6

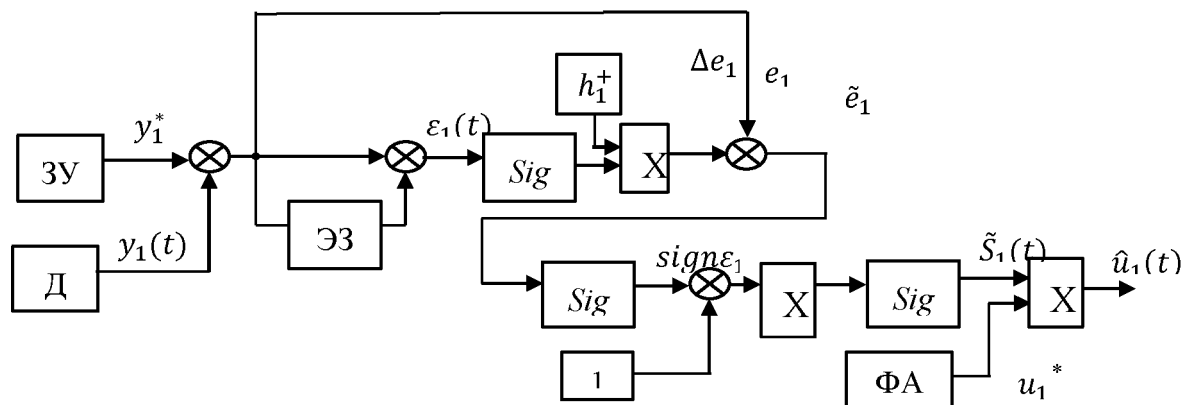


Рис.6. Структура регулятора с упреждающим законом управления

Выводы: Для определенного класса одномерных объектов управления сформулирован принцип построения управляющей подсистемы с учетом их особенностей. На основе этого принципа синтезированы различные варианты структур и параметров регулятора, обеспечивающего заданные показатели качества процессов управления.

Список литературы

1. Техническая кибернетика. Теория автоматического регулирования /Под ред. Солодовникова В.В. – М.: Машиностроение, 1967, 1968. – Кн.1,2,3.
2. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления.– М.: Профессия, 2004. –747 с.
3. Porter, В. Modal Control / В. Porter, Т. R. Crossley. – London: Taylor & Francis, 1972. - 270 p.
4. Оморов Т.Т., Курманалиева Т.Т. Многокритериальный синтез систем управления по показателям качества и сложности.– Бишкек: Илим, 2007. – 136с.
5. Смирнов В.И. Курс высшей математики. Том 1. – М.: Наука, 1974. - 480с.

References

1. Tekhnicheskaya kibernetika [Technical Cybernetics]. Teoriya avtomaticheskogo regulirovaniya [The theory of automatic control] /Ed. Solodovnikova V.V. – М.: Mashinostroyeniye [Mechanical Engineering], 1967, 1968. – Kn.1,2,3.
2. Besekerskiy V.A., Popov E.P. Teoriya sistem avtomaticheskogo upravleniya [The theory of automatic control systems] .– М.: Professiya, 2004. –747 s.
3. Porter, В. Modal Control / В. Porter, Т. R. Crossley. – London: Taylor & Francis, 1972.- 270 p.
4. Omorov T.T., Kurmanaliyeva T.T. Mnogokriterial'nyy sintez sistem upravleniya po pokazatelyam kachestva i slozhnosti [Multicriteria synthesis of control systems in terms of quality and complexity], - Bishkek: Ilim, 2007. – 136 s.
5. Smirnov V.I Курс высшей математики [Course of Higher Mathematics] Том 1. – М.: Nauka, 1974. - 480s.