

УДК 681.5, 681.5.015

СИНТЕЗ ИНВАРИАНТНОЙ СИСТЕМЫ АДАПТИВНОГО МОДАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ НА БАЗЕ СЛЕДЯЩЕЙ СИСТЕМЫ

Ву Ань Хиен, Ягодкина Т.В.

Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт»,
Москва, e-mail: YagodkinaTV@mpei.ru

Следящие системы находят широкое применение в различных отраслях техники. Они используются при автоматизации производственных процессов и в вычислительной технике. Целью данной статьи является синтез инвариантной системы адаптивного модального управления на базе следящей системы с неизвестным математическим описанием при наличии возмущений с использованием идентификатора, представляющего собой модель системы в дискретном пространстве состояний, полученную при использовании приложения Ident в Matlab (Simulink). Рассматриваемая система имеет несколько входов, в том числе с управляющим входом и входами возмущающих воздействий. Для проверки алгоритма построена следящая система с изменяющимися параметрами, которую реализуем в среде MATLAB/Simulink. При моделировании системы по разным значениям параметров для разных типов помехового сигнала (белый шум, сигнал со скачком и синусоидальный-Sin) получены положительные результаты.

Ключевые слова: модальное управление, инвариантная система, пространство состояний, моделирование, алгоритм, среда Matlab/Simulink

SYNTHESIS ADAPTIVE MODAL REGULATOR FOR INVARIANT SYSTEM ON THE BASIC OF TRACKING SYSTEM

Vu Anh Hien, Yagodkina T.V.

National Research University «Moscow Power Engineering Institute»,
Moscow, e-mail: YagodkinaTV@mpei.ru

Tracking systems are widely used in many sectors of technology. They are used in automation processes and in computer technology. The purpose of this article is a synthesis adaptive modal regulator for invariant systems on the basic of tracking system under disturbances and unknown system's mathematical description. Model of the system is represented in state-space discrete form, after using an estimator, which is built from Identification Toolbox in Matlab (Simulink) by article's authors. The system has several inputs, including a control input and a disturb input. To test the algorithm, the tracking system with variable parameters is built in environment MATLAB/Simulink. After simulating adaptive system with different values of the parameters and with different types of disturb signal (white noise, step signal and Sin-signal), positive simulation results were received.

Keyword: modal control, invariant system, state space, simulation, algorithm, Matlab/Simulink

Инвариантные системы представляют собой новый класс систем управления, имеющих высокие показатели качества и точности управления. В инвариантной системе влияние внешних возмущающих воздействий в процессе регулировки должно быть сведено к минимуму.

В работе [4] рассматриваются инвариантные системы модального управления с идентификатором на базе следящей системы при наличии возмущающих воздействий. Под возмущениями, нарушающими состояние равновесия, понимается влияние воздействий, выводящих систему из заданного положения.

Целью данной статьи является синтез инвариантной системы адаптивного модального управления с идентификатором на базе следящей системы, которая имеет несколько входов, в том числе с управляющим входом и входами возмущающих воздействий.

Следящие системы находят широкое применение в различных отраслях техни-

ки. Они используются при автоматизации производственных процессов и в вычислительной технике.

В простейшем случае рассмотрим для стандартной MISO-системы варианты подхода с двумя входами к проблеме обеспечения инвариантности (рис. 1), на рис. 2 показана структурная схема системы с компенсацией W_k .

$$W_k = \frac{1}{W_1}. \quad (1)$$

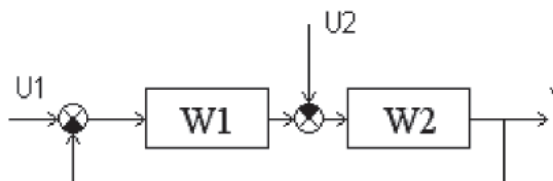


Рис. 1. Схема стандартной MISO-системы, где U_1 – вход системы; U_2 – вход возмущающего воздействия

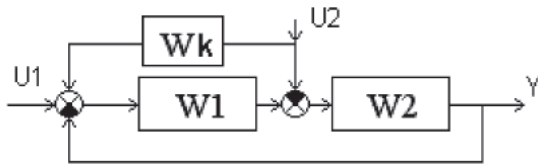


Рис. 2. Структурная схема системы с компенсацией, где U_1 – вход системы; U_2 – вход возмущающего воздействия

В случае, когда неизвестны параметры объекта, но получена дискретная модель идентификации системы в пространстве состояний, передаточная функция имеет вид

$$W_{(z)} = \frac{Y_{(z)}}{U_{(z)}} = C \cdot (z \cdot I - A)^{-1} \cdot B. \quad (2)$$

Получено $Y_{(z)} = W_{11} U_1 - W_{21} U_2$, где W_{11} , W_{21} – передаточные функции по первому и второму входам.

В общем виде передаточные функции замкнутой системы относительно первого и второго входа имеют вид

$$W_{11} = \frac{W_1 \cdot W_2}{1 + W_1 \cdot W_2} \quad \text{и} \quad W_{21} = \frac{W_2}{1 + W_1 \cdot W_2}. \quad (3)$$

Соответственно, если известны передаточные функции W_{11} и W_{21} , путем деления W_{11} на W_{21} , получим неизвестную передаточную функцию W_1 .

$$W_1 = \frac{W_{11}}{W_{21}}. \quad (4)$$

После компенсации возмущения могут быть использованы любые методы модального управления, чтобы рассчитать параметры модального регулятора. Для получения векторов обратных связей \mathbf{P} согласно уравнению

$$\mathbf{P}g(z) = H(z) - F(z) = \sum_{i=1}^n P_i g_i(z) \quad (5)$$

была построена система уравнений, при решении которой были найдены векторы обратных связей $\mathbf{p}(\omega_0)$, согласно методике, изложенной в [2].

Общую структуру синтеза инвариантной системы модального управления при неизвестных параметрах объекта можно свести к следующим этапам:

- Проведение структурной и параметрической идентификации объекта. Получение модели идентификации в пространстве состояний.

- Синтез компенсации в соответствии с формулами (1), (4).

- Синтез модального регулятора по методике, изложенной в [2].

- Моделирование полученного регулятора и объекта.

Для идентификации использовался System Identification Toolbox в среде MATLAB [3]. Для проверки метода рассмотрим следящую систему, которую реализуем в среде MATLAB/Simulink.

При синтезе инвариантной системы адаптивного модального управления для следящих систем задача может быть решена с помощью следующих этапов:

- Моделирование основных объектов в среде MATLAB/Simulink.

- Построение объектов с изменяющимися параметрами в среде MATLAB/Simulink.

- Построение блока «Компенсации» в среде MATLAB/Simulink.

- Построение блока «Возмущающее воздействие» в среде MATLAB/Simulink.

- Построение блока «Адаптивный модальный регулятор» в среде MATLAB/Simulink.

- Моделирование полученной системы управления.

В соответствии с принципиальной схемой исследования проводились на структурной схеме следящей системы (рис. 3), смоделированной в MATLAB.

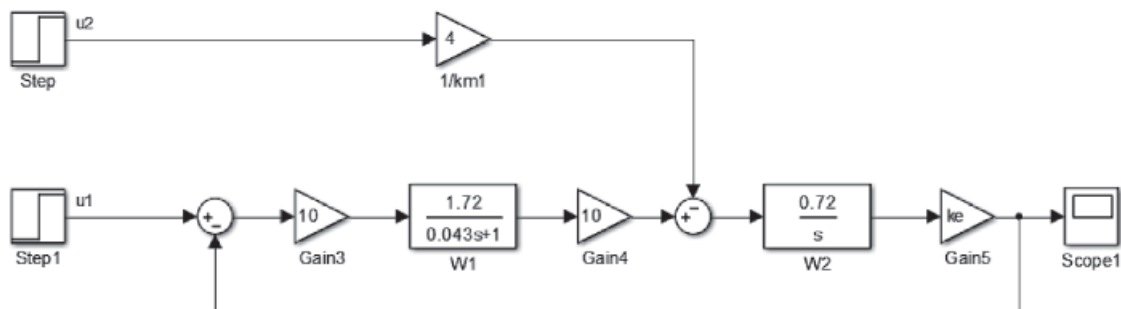


Рис. 3. Смоделированная структурная схема следящей системы

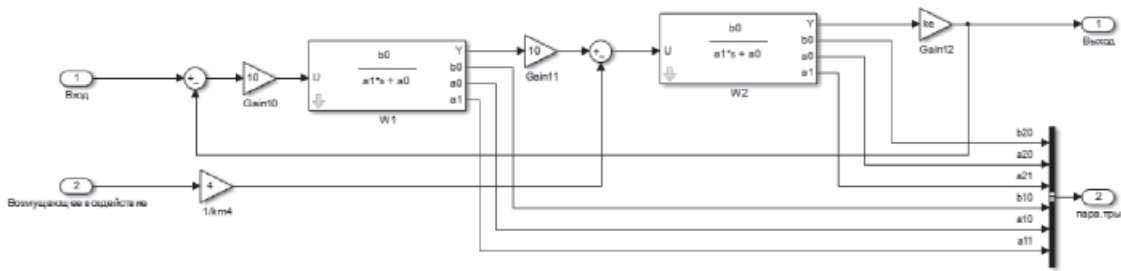


Рис. 4. Блок следящей системы с изменяющимися параметрами

Для проверки работоспособности разработанного адаптивного регулятора в этом приложении проектируется блок следящей системы с изменяющимися параметрами в среде Matlab/Simulink. Изменения параметров W_1 и W_2 и схема блока следящей системы представлены на рис. 4.

При этом блоки W_1 , W_2 являются masked block, вновь созданным в среде

Simulink. Отметим, что W_1 и W_2 являются передаточными функциями первого порядка и процедура построения этих блоков указана в [1].

Для нашей системы требуется только передаточная функция первого порядка. Однако будут небольшие изменения в самонастройке моделирующих коэффициентов.

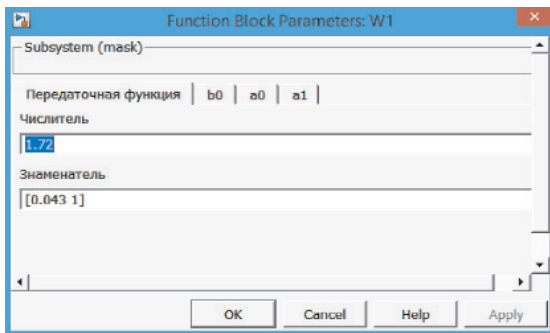


Рис. 5. Моделирующие коэффициенты для передаточной функции W_1

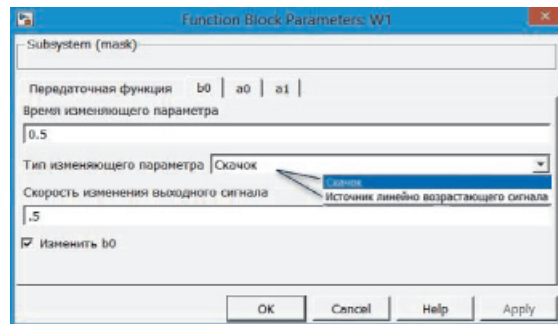


Рис. 6. Самонастройка для передаточной функции W_1 – коэффициент b_0

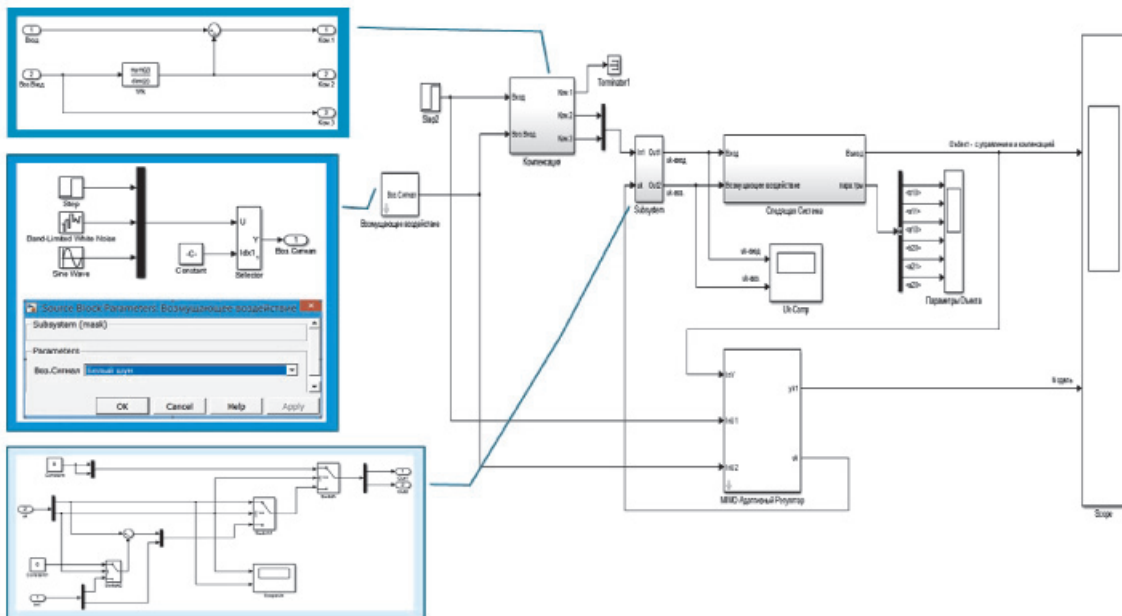


Рис. 7. Схема инвариантной адаптивной модальной системы

В этом блоке самонастройки передаточной функции параметрами для ввода являются числитель и знаменатель передаточной функции. При этом ввод проводится только для передаточной функции первого порядка.

Далее вводятся параметры b_0 , a_0 и a_1 . На рис. 6 можем выбирать:

- Время начала изменения параметров.
- Способ изменения параметров: скачком или источником линейно возрастающего сигнала.

– Скорость изменения выходного сигнала (slope): это зависит от выбора способа изменения параметров.

– Последним является самонастраивание с разрешением или нет изменения этого параметра в процессе моделирования. При желании его изменения можно оперировать со знаком произведения, и наоборот.

Самонастройка для коэффициентов a_0 и a_1 проводится аналогичным образом, как для b_0 .

После построения блока следящей системы с изменяющимися параметрами проводится сопряжение с созданным в предыдущих этапах регулятором. В результате получена схема инвариантной адаптивной модальной системы (рис. 7).

Здесь:

– Блок «Возмущающее воздействие» позволяет выбирать тип помехового сигнала. Этот блок позволяет выбирать один из трех типов помехового сигнала: скачок, белый шум или синусоидальный (Sin).

– Блок «Компенсация»: формирует сигнал компенсации помех для подачи на объект управления. Этот блок получает параметры из блока «Адаптивный модальный регулятор» для создания параметра компенсации системы.

– Блок «Subsystem»: предназначен для коммутации режима идентификации объекта управления или режима управления в процессе моделирования системы.

– Блок «Адаптивный модальный регулятор»: осуществляет идентификацию объекта управления, расчет параметров компенсации и регулятора, обнаруживает изменения параметров объекта управления и вводит новые параметры объекта управления, набора параметров компенсации и регулятора. Этот блок построен по программам m-code в среде Matlab/Simulink. Его задачи: идентифицирует начальный объект управления в любой момент времени при наличии изменения параметров объекта управления; расчет параметров компенсации по методике в [4]; вычисляет параметры регулятора по алгоритмам модального управления в [2]; обнаруживает изменение параметров объекта управления; формирует импульс идентификации для объекта управ-

ления в виде импульса PRBS (псевдослучайного двоичного сигнала).

Алгоритм управления системы показан на рис. 8.



Рис. 8. Процесс управления системы, где e – ошибка рассогласования между выходами объекта управления и модели [5]

$$e = \frac{|u_{\text{объект}} - u_{\text{модель}}|}{u_{\text{модель}}} \cdot 100 \%$$

Полученные результаты моделирования системы при $T = 0,001s$, $q_1 = 1$, $w_0 = 35$. При этом помеховые сигналы соответствуют одному из трех типов: белый шум, сигнал со скачком и синусоидальный (Sin).

Параметры объекта управления изменяются скачком при $\Delta b_0/b_0 = 0,5$, $\Delta a_0/a_0 = 0,5$, $\Delta a_1/a_1 = 0,1$ (рис. 9).

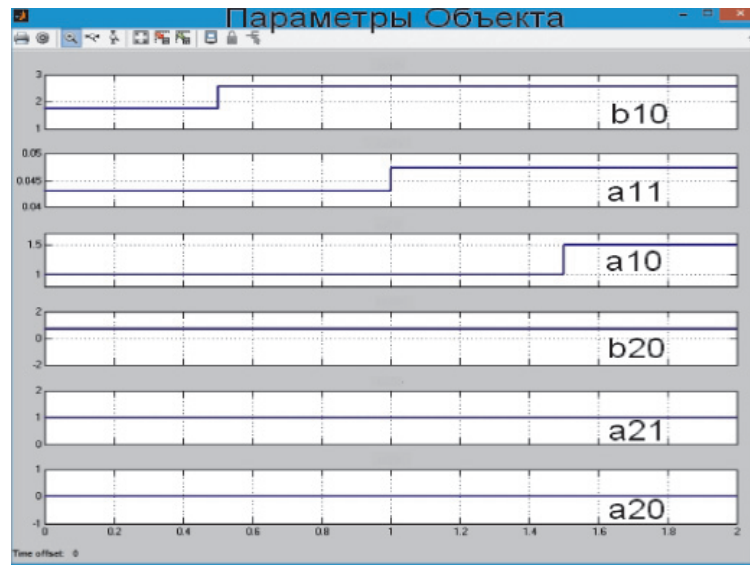


Рис. 9. Параметры объекта управления, изменяющиеся скачками

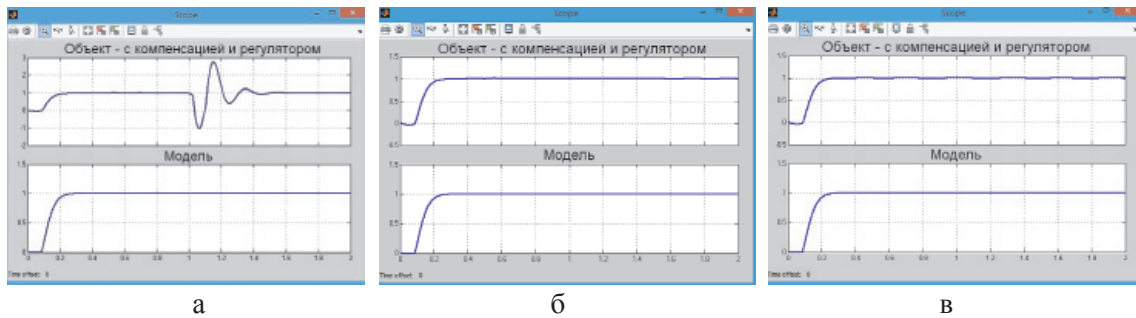


Рис. 10. График переходного процесса в системе при подаче на вход возмущающего воздействия любых сигналов: а – белый шум; б – скачок; в – синусоида

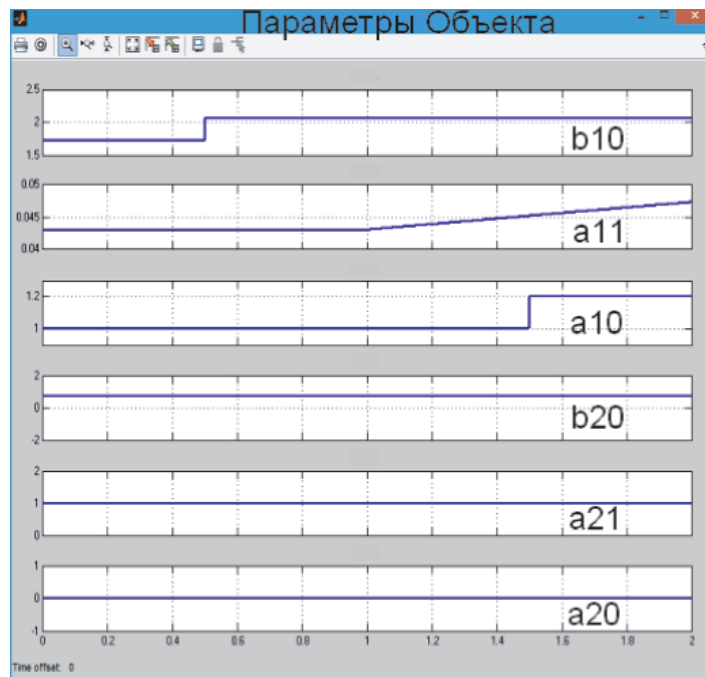


Рис. 11. Параметры объекта управления по скачкам и по закону гатр

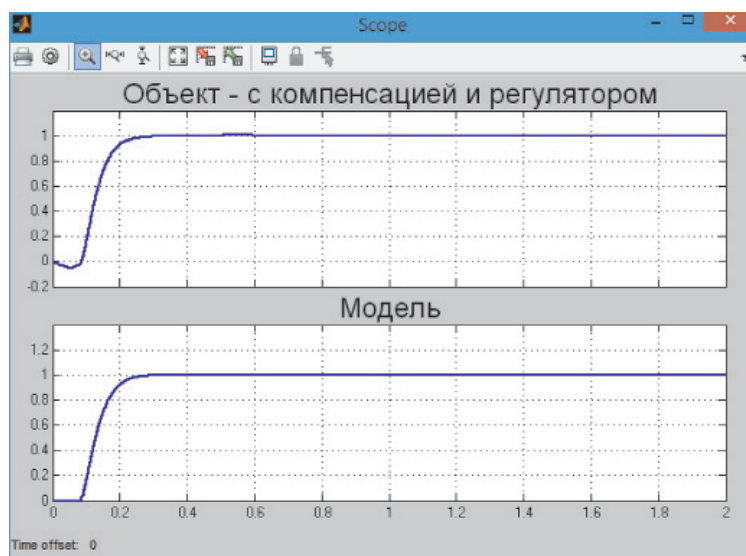


Рис. 12. График переходного процесса – возмущающего воздействия – Белый шум

Соответствующие выходные сигналы системы и модели получены на рис. 10.

Для помехового сигнала в виде сигнала со скачком и сигнала синусоидального (Sin) получены аналогичные результаты.

Параметры объекта управления изменяются скачком при $\Delta b_0/b_0 = 0,2$, $\Delta a_0/a_0 = 0,2$, а коэффициент a_1 изменяется по закону ramp со значением $\Delta a_1/a_1 = 0,1$ (рис. 11), а полученный результат на рис. 12.

Выводы

При моделировании системы по разным значениям параметров T , q_1 и w_0 для разных типов помехового сигнала получены следующие результаты:

– Система управления остается асимптотически устойчивой с небольшим изменением значений коэффициентов b_{10} , a_{10} , b_{20} , a_{20} . При большом изменении (до 50%) значений начальных коэффициентов система остается управляемой с небольшим перерегулированием. Система управления остается асимптотически устойчивой при медленном изменении параметров объекта управления.

– Изменение параметров a_{11} и a_{21} влияет наиболее существенно на качество управления системы. При изменении скачком в 1,5 раза значений коэффициентов a_{11} или a_{21} система управления выдает достаточно большое перерегулирование для помехи типа белый шум. Однако системе удается восстановить устойчивое состояние. Помеховый сигнал в виде белого шума на входе U_2 влияет больше всего на систему управления. Для устранения этого недостатка можно заменить алгоритм идентификации многомерного объекта управления в замкнутой системе рекуррентным алгоритмом.

– Система управления является устойчивой для помеховых сигналов в виде сигнала со скачком и синусоидального (Sin).

Список литературы

1. Ву Ань Хиен, Осина А.В., Ягодкина Т.В. Построение библиотеки модулей в Simulink для модального управления многомерными системами с идентификатором // Пятая междунар. Интернет-конференция молодых ученых, аспирантов и студентов «Инновационные технологии: теория, инструменты, практика» InnoTech-2013. – Пермь, ноября 2013 г. – М.: Изд-во Пермского национального исследовательского политехнического университета, 2014. – С. 127–133.
2. Кузовков Н.Т. Модальное управление и наблюдающие устройства. – М.: Машиностроение, 1976.
3. Льюнг Л. Идентификация систем. Теория для пользователя. – М.: Наука. Гл. ред. физ-мат. лит., 1991. – 432 с.
4. Осина А.В. Разработка метода построения инвариантных систем модального управления с идентификаторами: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.01. – М., 2013.
5. Попов Е.П. Теория линейных систем автоматического регулирования и управления. – М.: Наука, 1978.

References

1. Vu An Hien, Osina A.V., Jagodkina T.V. Postroenie biblioteki modulej v Simulink dlja modalnogo upravlenija mnogomernymi sistemami s identifikatorom // Pjataja mezhdunar. Internet-konferencija molodyh uchenyh, aspirantov i studentov «Innovacionnye tehnologii: teorija, instrumenty, praktika» InnoTech-2013. Perm, nojabrja 2013g. M.: Izd-vo Permskogo nacionalnogo issledovatel'skogo politehnicheskogo universiteta, 2014. pp. 127–133.
2. Kuzovkov N.T. Modalnoe upravlenie i nabljudajushhie ustrojstva. M.: Mashinostroenie, 1976.
3. Ljung L. Identifikacija sistem. Teorija dlja polzovatelja. M.: Nauka. Gl. red. fiz-mat. lit., 1991. 432 p.
4. Osina A.V. Razrabotka metoda postroenija invariantnyh sistem modalnogo upravlenija s identifikatorami: dis. ... kand. tehn. nauk: 05.13.01. M., 2013.
5. Popov E.P. Teorija linejnyh sistem avtomaticheskogo regulirovanija i upravlenija. M.: Nauka, 1978.