

Оценка робастности системы автоматического управления газотурбинным двигателем при различных цифровых регуляторах

10, октябрь 2015

Арбузов Е. В.¹, Сейтенов Д.^{1,*}

УДК: 62-843.8

¹Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана

[*sds17@mail.ru](mailto:sds17@mail.ru)

Введение

Система управления газотурбинным двигателем (ГТД), как механическим приводом синхронного генератора, обладает рядом недостатков существенно снижающие эффективность его работы. К этим недостаткам относятся: появление на некоторых режимах работы энергодвигателя автоколебаний, попадание системы автоматического управления (САУ) ГТД в зону неустойчивой работы, в следствии создаются аварийные ситуации. Констатация данных фактов означает, что САУ ГТД, как механическим приводом синхронного генератора, недостаточно изучена [1].

Большинство современных подходов к синтезу систем автоматического управления акцентируются на робастности систем, т.е. способности системы сохранять требуемое качество и надежность несмотря на неточности модели или существенную неопределенность характеристик объекта управления. Необходимость оценки робастности учитывает, что реальные системы и условия в которых они функционируют, невозможно идеально смоделировать, системы могут изменяться непрогнозируемым образом и могут быть подвержены всевозможным возмущениям. Робастная система должна противостоять влиянию дестабилизирующих факторов при решении задач, ради которых она проектировалась [2].

В статье робастность САУ ГТД оценивалось с целью выбора надлежащего регулятора. Учитывая, что основной задачей выбранного регулятора будет обеспечение требуемого качества системы в переходных и установившихся режимах, был выбран регулятор, который обеспечивает быстродействие, определяемое временем регулирования, по сравнению с другими регуляторами при подаче на вход системы тестового ступенчатого сигнала, и допустимые изменения качества системы, характеризуемые указанными параметрами [3]. В статье был продемонстрирован новационный метод настройки коэффициентов регулятора.

1. Исходные данные

В данной статье на примере замкнутой системы управления, оценим робастность системы автоматического управления газотурбинным двигателем (ГТД) при использовании трех типов цифровых регуляторов: 1) пропорционально-интегрирующий (ПИ); 2) пропорционально-дифференцирующий (ПД); 3) традиционный пропорционально интегрально-дифференцирующий (ПИД) регулятор. Для цифровых регуляторов выбраны начальные произвольные коэффициенты: $K=0,9605$; $K_i=0,0437$; $K_d=0,8175$; которые были определены в литературе [4].

Воспользуемся упрощенной моделью ГТД в виде передаточной функции (1) объекта управления (ОУ) с исполнительным устройством [4]:

$$G_0(s) = \frac{x(s)}{m(s)} = \frac{\alpha(s^2 + qs + r)}{s(s^2 + bs + a)(s + c)} \quad (1)$$

Отрицательная обратная связь осуществляется датчиком температуры, измеряющий температуру за турбинным блоком ($T = 1048$ К), передаточная функция (2):

$$T_{ТП}(s) = \frac{b_4}{s + b_4} \quad (2)$$

Численные значения параметров передаточных функций (1) и (2) объекта управления вместе с исполнительным устройством и термопарой для указанного режима работы газотурбинного двигателя приведены в табл. 1, которые были определены в литературе [5].

Таблица 1. Численные значения параметров передаточных функций

CP	α	q	r	b	a	c	b_4
	0,239	6,1405	7,8087	7,45	13,651	0,29	0,67

2. Расчетная часть

В наши дни широкое применение получили современные вычислительные средства в исследовании динамических систем, основанные на использовании хорошо разработанных пакетов прикладных программ, реализующих известные методы анализа, синтеза и оптимизации САУ. Среди таких программных средств, наиболее известна система Matlab, в которой реализован язык программирования высокого уровня для технических вычислений [6].

Составляем в интерактивной системе MATLAB (Simulink) структурную схему системы автоматического управления ГТД с цифровым ПИ регулятором, рис. 1 [7].



Рис. 1. Структура САУ с ПИ-регулятором

Далее, задаем начальные произвольные коэффициенты пропорционирования и интегрирования ($K=0,9605$; $K_i=0,0437$), которые были приведены выше, и запускаем программу. Из рис. 2 видно, что система с начальными произвольными коэффициентами не является устойчивой до 300с (Block response), поэтому проводим автоматический подбор коэффициентов с помощью функции Tuner [8].

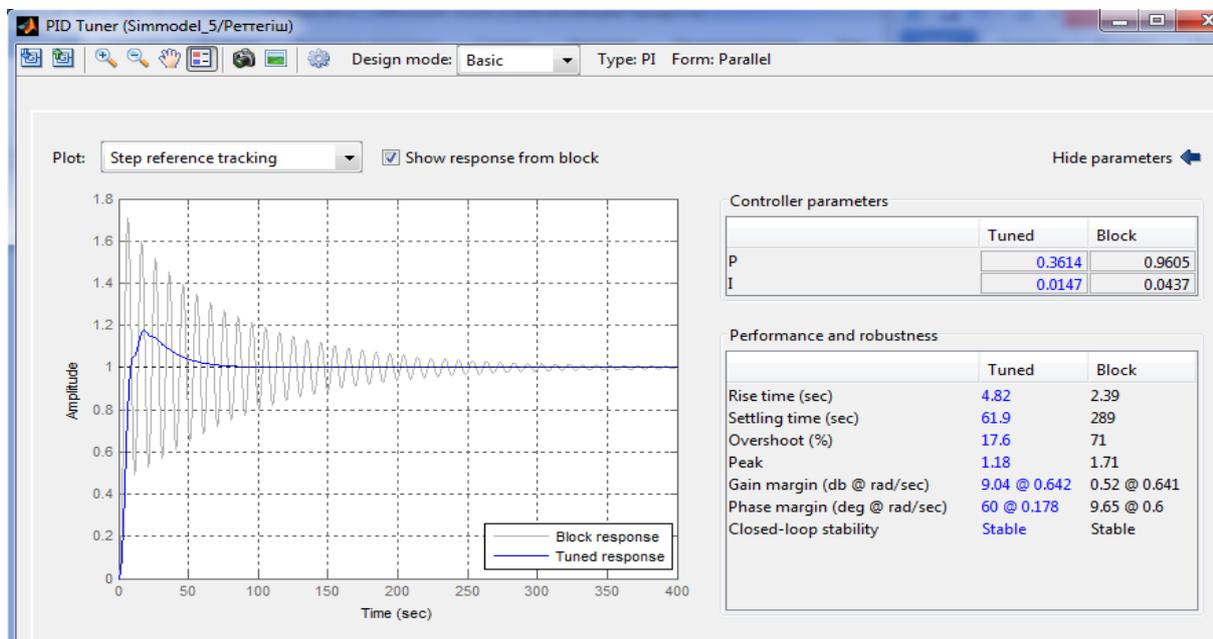


Рис. 2. Переходный процесс с ПИ-регулятором ($K=0,9605$; $K_i=0,0437$)

Из панели параметров рис. 2 можем увидеть новые коэффициенты ($K=0,3614$; $K_i=0,0147$) ПИ-регулятора для данной структуры. Следующим шагом задаем новые коэффициенты регулятору, рис. 3.

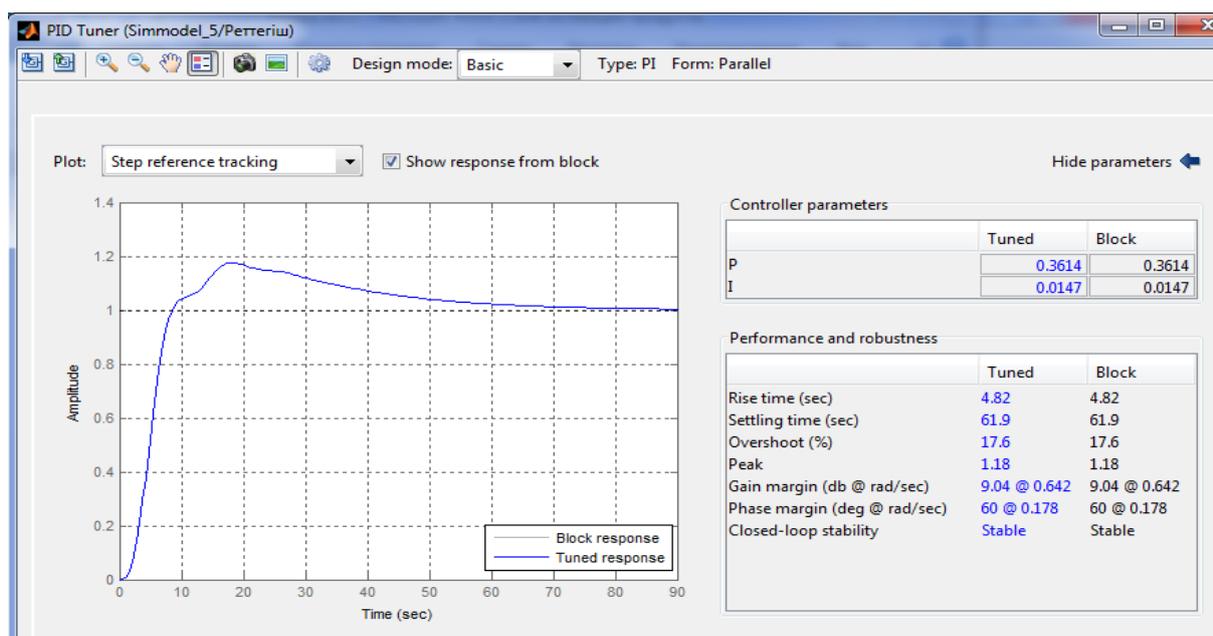


Рис.3. Переходный процесс с ПИ-регулятором ($K=0,3614$; $K_i=0,0147$)

Также запустив систему мы можем увидеть в осциллограмме следующую картину, рис. 4.

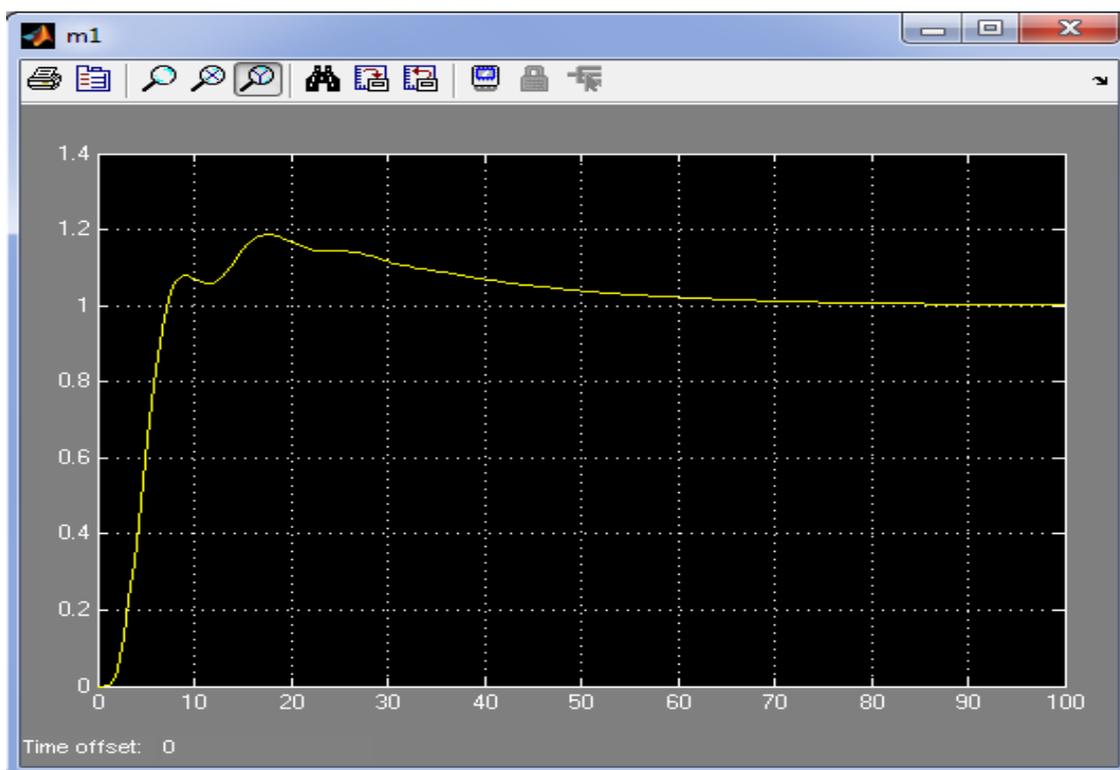


Рис. 4. Переходный процесс с ПИ-регулятором

После автоматического подбора коэффициентов мы можем увидеть из рис. 4, что система с ПИ-регулятором отвечает требованию устойчивости, но время регулирования $t_p=85c$ и перерегуливание $\sigma = \frac{1,19-1}{1} * 100\% = 19\%$.

Составляем в интерактивной системе MATLAB (Simulink) структурную схему системы автоматического управления ГТД с цифровым ПД регулятором, рис. 5.



Рис. 5. Структура САУ с ПД-регулятором

Далее, задаем начальные произвольные коэффициенты пропорционирования и дифференцирования ($K=0,9605$; $K_d=0,8175$), которые были приведены выше, и запускаем программу. Из рис. 6 видно, что система с начальными произвольными коэффициентами не является устойчивой до 100с (Block response), поэтому проводим автоматический подбор коэффициентов с помощью функции Tuner.

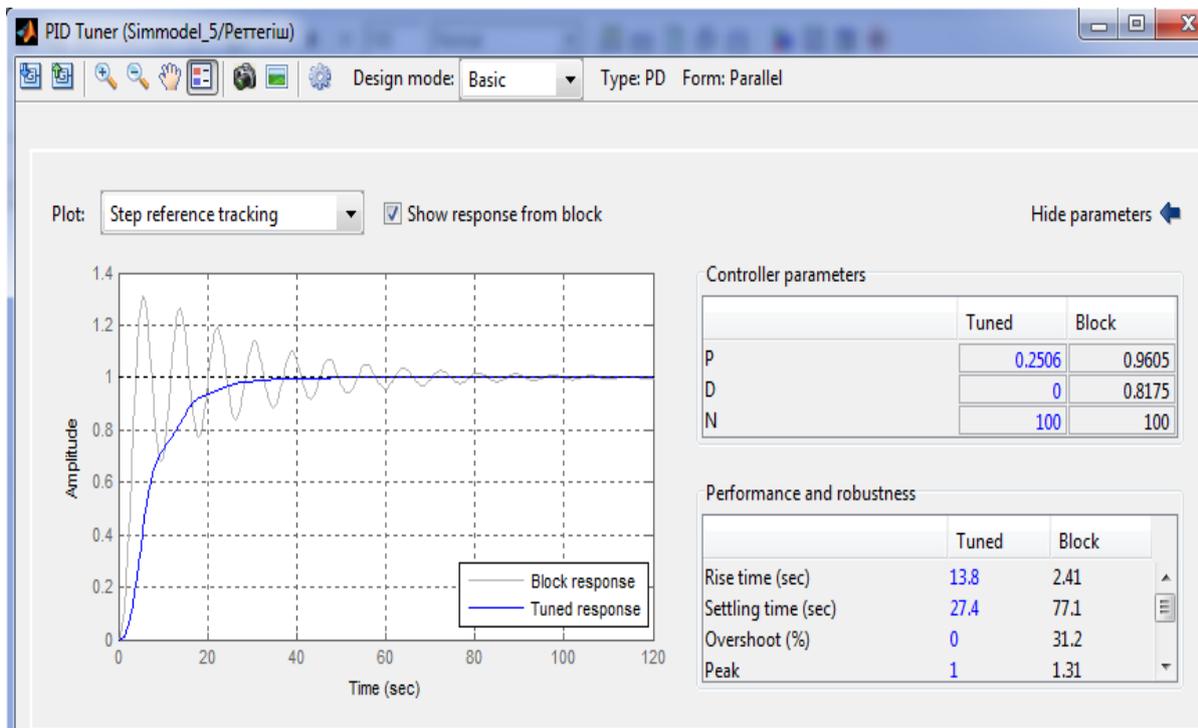


Рис. 6. Переходный процесс с ПД-регулятором ($K=0,9605$; $K_d=0,8175$)

Из панели параметров рис. 6 можем увидеть новые коэффициенты ($K=0,2506$; $K_d=0$) ПД-регулятора для данной структуры. Следующим шагом задаем новые коэффициенты регулятору, рис. 7.

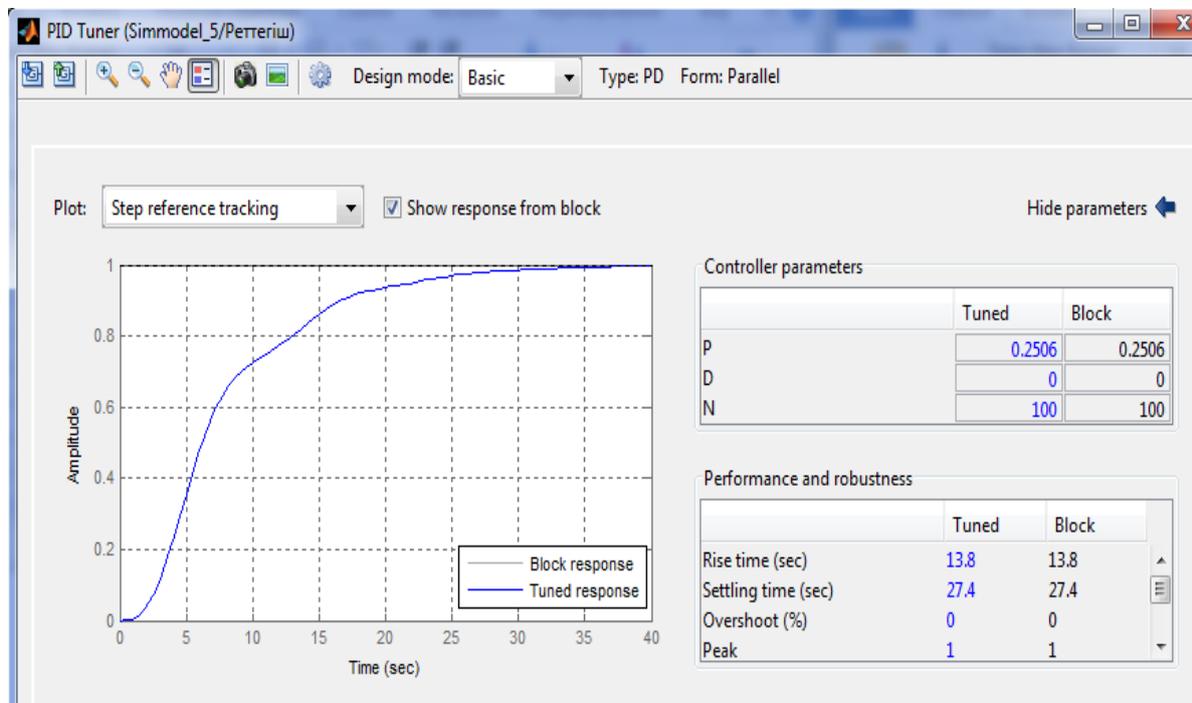


Рис. 7. Переходный процесс с ПД-регулятором ($K=0,2506$; $K_d=0$)

Также запустив систему мы можем увидеть в осциллограмме следующую картину, рис. 8.

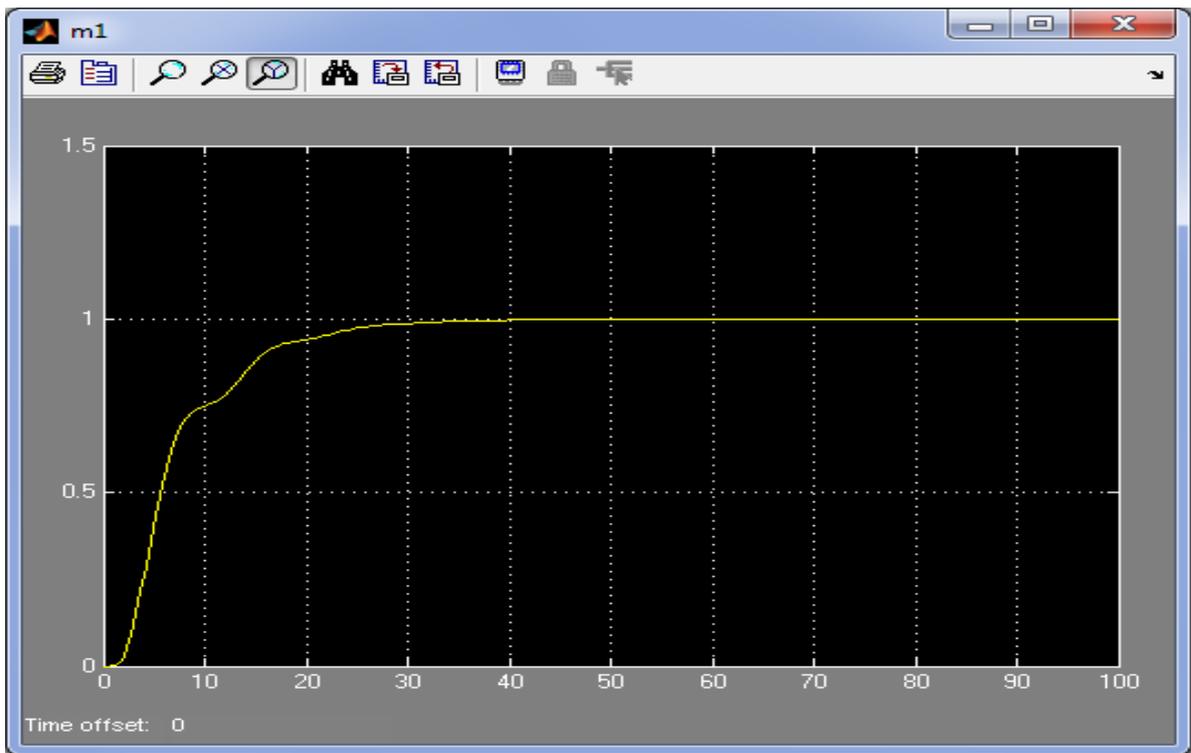


Рис. 8. Переходный процесс с ПД-регулятором

После автоматического подбора коэффициентов мы можем увидеть из рис. 8, что система с ПД-регулятором отвечает требованию устойчивости, но время регулирования $t_p=40c$ и перерегуливание $\sigma = \frac{1-1}{1} * 100\% = 0\%$ [9].

Составляем в интерактивной системе MATLAB структурную схему системы автоматического управления ГТД с цифровым ПИД-регулятором, рис. 9.



Рис. 9. Структура САУ с ПИД-регулятором

Далее, задаем начальные произвольные коэффициенты пропорционирования, интегрирования и дифференцирования ($K=0,9605$; $K_i=0,0437$; $K_d=0,8175$), которые были приведены выше, и запускаем программу. Из рис. 10 видно, что система с начальными произвольными коэффициентами не является устойчивой до 80с (Block response), поэтому проводим автоматический подбор коэффициентов с помощью функции Tuner.

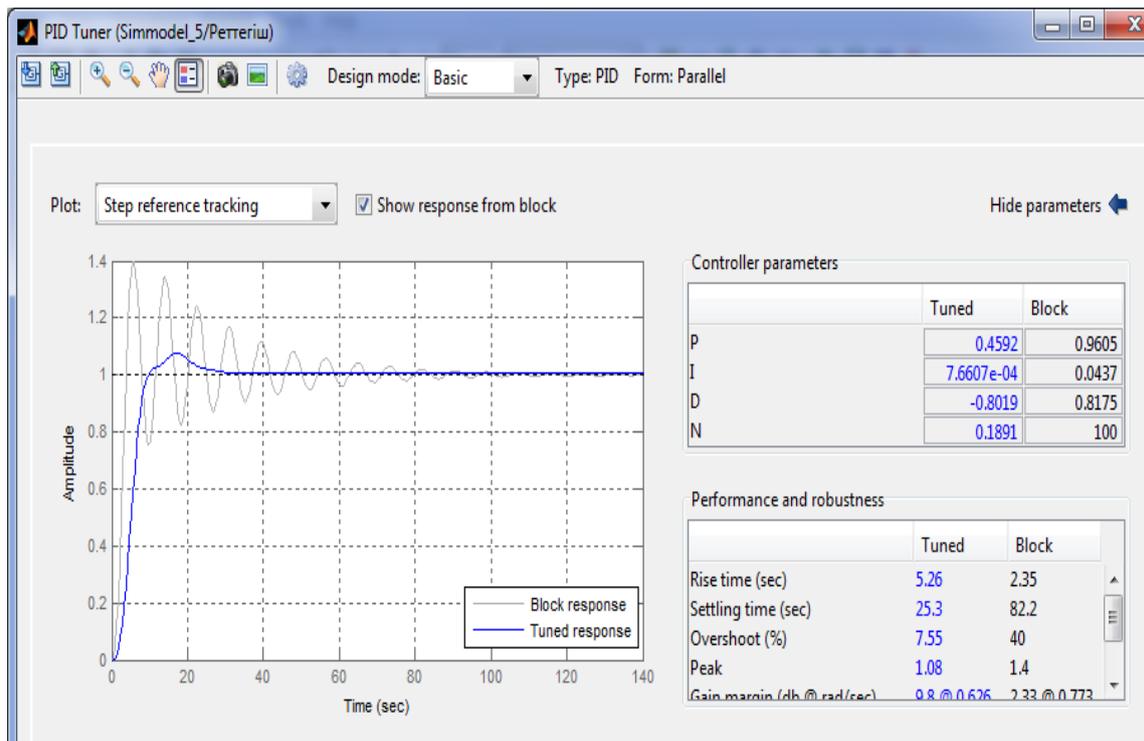


Рис. 10. Переходный процесс с ПИД-регулятором ($K=0,9605$; $K_i=0,0437$; $K_d=0,8175$)

Из панели параметров рис. 10 можем увидеть новые коэффициенты ($K=0,4592$; $K_i=7,6607e-04$; $K_d=-0,8019$) ПИД-регулятора для данной структуры. Следующим шагом задаем новые коэффициенты регулятору, рис. 11.

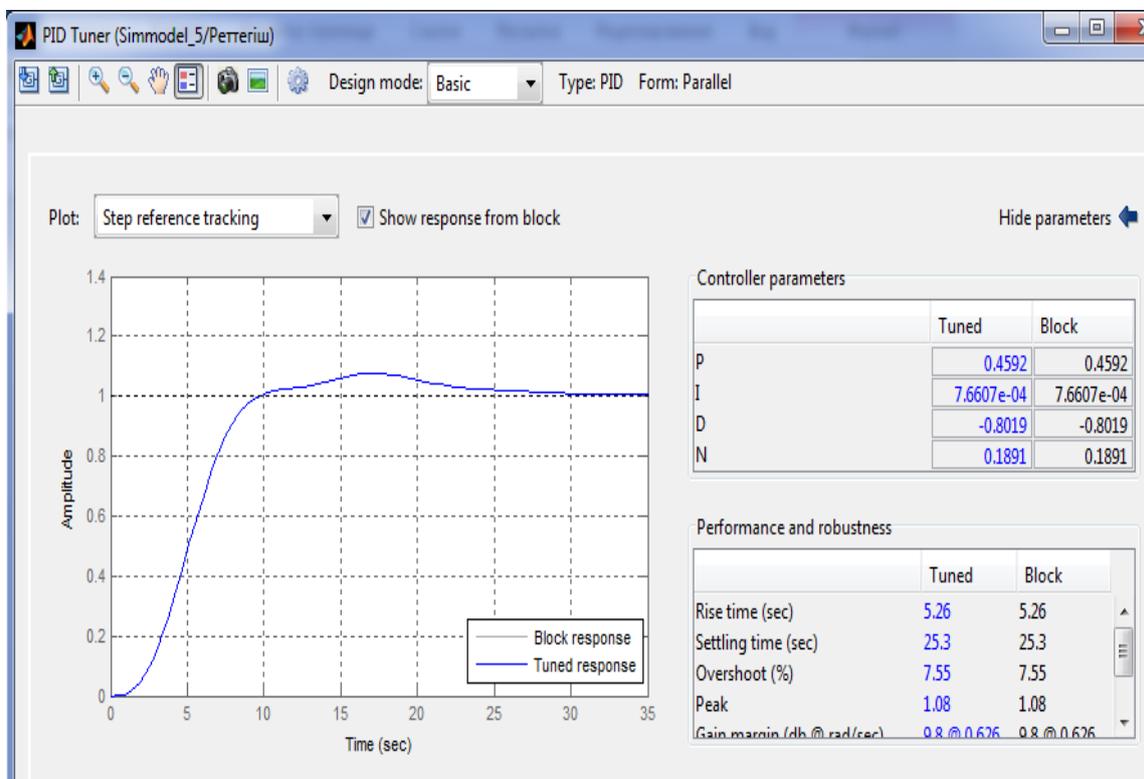


Рис. 11. Переходный процесс с ПИД-регулятором ($K=0,4592$; $K_i=7,6607e-04$; $K_d=-0,8019$)

Также запустив систему мы можем увидеть в осциллограмме следующую картину, рис. 12.

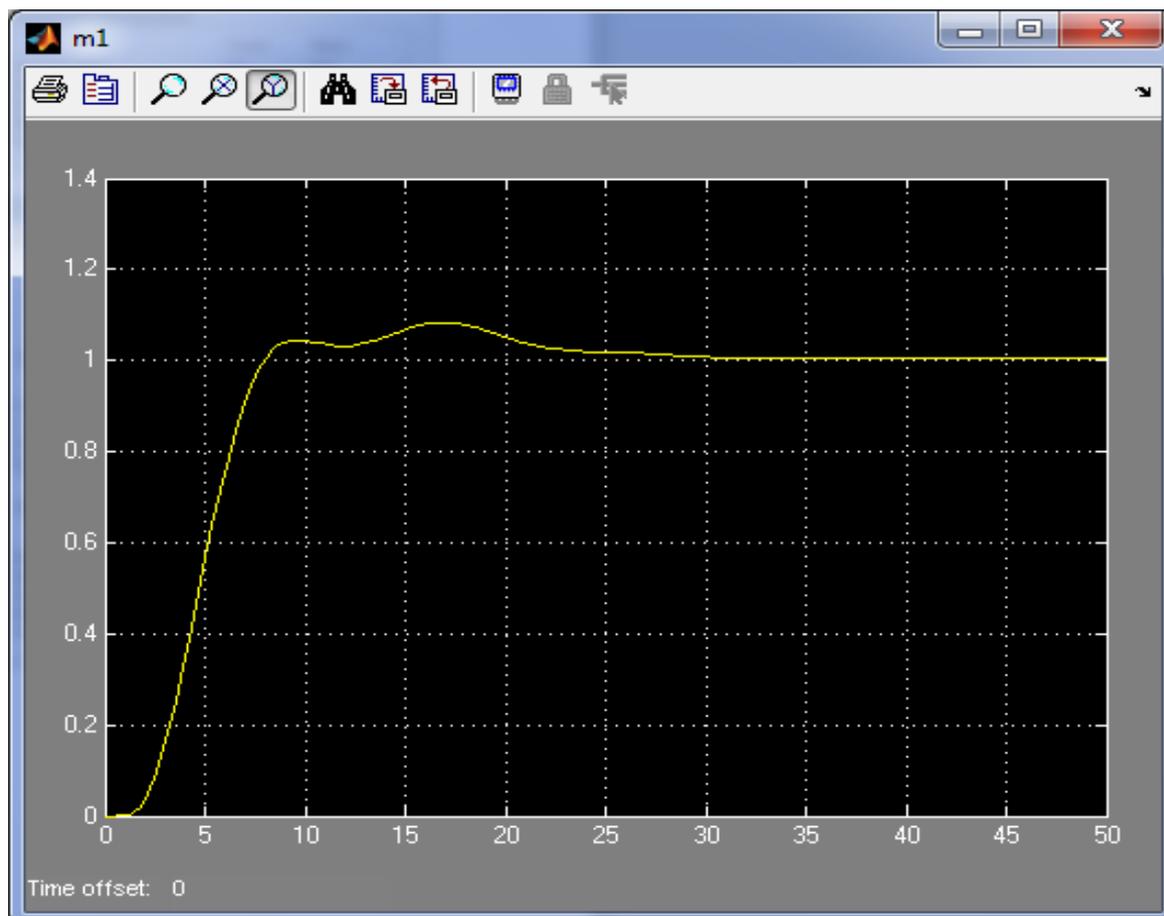


Рис. 12. Переходный процесс с ПИД-регулятором

После автоматического подбора коэффициентов мы можем увидеть из рис. 12, что состояние системы становится устойчивой к 30с. ПИД-регулятор отвечает требованию устойчивости, время регулирования минимально ($t_p=30$ с) по сравнению с применением других регуляторов и перерегулирование $\sigma = \frac{1,08-1}{1} * 100\% = 8\%$, что соответствует допустимым пределам [10].

Заключение

Поэтому можно заключить, что система с цифровым ПИД-регулятором обладает хорошей робастностью, т.е. способностью сохранять требуемое качество несмотря на неточности модели или существенную неопределенность характеристик объекта управления. Проведенные исследования системы автоматического управления ГТД показывают, что наилучшая робастность системы (наименьшие изменения качества систем, характеризуемого реакцией на ступенчатое возмущение) обеспечивается при использовании в системе ПИД-регулятора.

Список литературы

- [1]. Васильев С.Н., Мунасыпов Р.А., Распопов Е.В., Фрид А.И., Черняховская Л.Р. Интеллектуальные системы управления и контроля газотурбинных двигателей. М.: Машиностроение. 2008. 550 с.
- [2]. Бейсенби М.А. Методы повышения потенциала робастной устойчивости систем управления. Астана: ЕНУ им. Л.Н. Гумилева. 2011. 352 с.
- [3]. Zhou K., Doyle J.C. Essentials of robust control. Prentice-Hall. 1998. 411 p.
- [4]. Гостев В.И. Нечеткие регуляторы в системах автоматического управления. Киев: Радиоаматор. 2008. 972 с.
- [5]. Гостев В.И., Маглюй С.А., Богданов В.О. Расчет оптимального по быстродействию регулятора системы управления температурой газа двухвального двухконтурного газотурбинного двигателя // Вісник технологічного університету Поділля (м. Хмельницький). 2002. №3. Т.1 (41). С.12-16.
- [6]. Гулятьев А.К. Визуальное моделирование в среде Matlab: учебный курс. СПб.: Питер. 2000. 432 с.
- [7]. Поршнева С.В. Компьютерное моделирование физических процессов в пакете MATLAB. М.: Горячая линия – Телеком. 2003. 592 с.
- [8]. Ротач В.Я., Кузицин В.Ф., Ключев А.С. Автоматизация настройки систем управления / под ред. В.Я. Ротача. М.: Энергоатомиздат. 1984. 272 с.
- [9]. Попов Е.П. Теория линейных систем автоматического регулирования и управления: Учеб. пособие для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Наука. 1989. 304 с.
- [10]. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления. Изд. 4-е, перераб. и доп. СПб.: Профессия. 2003. 752 с.