

ОБЩЕПРОМЫШЛЕННЫЙ ПИД РЕГУЛЯТОР С МИНИМИЗАЦИЕЙ ЧИСЛА ИЗМЕНЕНИЙ ЕГО ВЫХОДНОГО СИГНАЛА (ПИДм РЕГУЛЯТОР)

А.М. Шубладзе (ИПУ РАН), С.И. Кузнецов (ОАО "НИИТеплоприбор"),
Н.М. Бобриков, И.К. Денисов (ОАО "Газавтоматика"),
С.В. Гуляев, В.Р. Олышванг, В.А. Малахов (ИПУ РАН)

Представлена модификация стандартного ПИД регулятора с минимизацией числа изменений его выходного сигнала (ПИДм регулятор), предназначенного для применения в АСУТП в различных отраслях промышленности и народного хозяйства с целью значительного увеличения ресурса технических средств управления.

Ключевые слова: регулятор, минимизация числа изменений, квантование, дискретный элемент.

Институтом проблем управления РАН совместно с ОАО "НИИТеплоприбор" и "Газавтоматика" (Москва) разработан промышленный регулятор с минимизацией числа изменений его выходного сигнала (ПИДм регулятор), предназначенный для применения в АСУТП в энергетике и теплоэнергетике, нефтегазовой, нефтехимической, химической и металлургической промышленности, ЖКХ и т.д. Указанная разработка продолжает публикации по промышленным регуляторам, опубликованные в работах [1-4] и основанные на ПИД законах регулирования.

В основе ПИДм регулятора лежит закон ПИД регулирования. В качестве входных датчиков прибора могут быть использованы термопреобразователи сопротивления, термопары (преобразователи термоэлектрические), активные преобразователи с выходным аналоговым сигналом в виде постоянного напряжения или тока, датчики положения исполнительных механизмов. Выходным устройством регулятора является дискретный элемент, выходной сигнал которого скачкообразно изменяется только в определенные моменты времени, а в остальное время сохраняет постоянное значение.

Логика работы ПИДм регулятора описывается следующей системой уравнений

$$u_{\text{ПИД}}(t) \begin{cases} u_{\text{ПИД}}(t_i) = k_P \varepsilon(t_i) + k_I \int_0^{t_i} \varepsilon(\tau) d\tau + k_D \dot{\varepsilon}(t_i) & \text{при } t_i \leq t \leq t_{i+1}, \\ u_{\text{ПИД}}(t_{i+1}) = k_P \varepsilon(t_{i+1}) + k_I \int_0^{t_{i+1}} \varepsilon(\tau) d\tau + k_D \dot{\varepsilon}(t_{i+1}) & \text{при } t = t_{i+1}, \end{cases}$$

где $i = 1; 2; 3; 4; \dots$, $\varepsilon(t) = g(t) - x(t)$ — ошибка регулирования, $g(t)$ — задающее воздействие, $x(t)$ — регулируемая координата, k_P , k_I и k_D — настроечные параметры ПИД управления, которые могут быть выбраны, например, по методике, описанной в [5], $t_{i+1} - t_i = T_{\text{кв}}$ — период квантования, который определяется динамическими параметрами системы управления и значительно превосходит период квантования цифрового ПИД регулятора. Кроме того, период квантования зависит от режима работы системы управления, при этом, чем больше модуль ошибки регулирования, тем выше частота квантования, то есть $T_{\text{кв}} = f(|\varepsilon(t)|)$, где f — монотонно растет с ростом своего положительного аргумента.

Представленная логика работы регулятора (1) гарантирует при определенном выборе функции $T_{\text{кв}} = f(|\varepsilon(t)|)$ относительно небольшое число изменений его выходного сигнала в произвольном интервале времени в сравнении с тем же числом изменений обычного ПИД регулятора на том же интервале.

ПИДм регулятор предназначен для работы с любым типом исполнительных механизмов. Прежде всего, это могут быть пропорциональные (непрерывные) механизмы, механизмы с постоянной скоростью изменения их выходного (рабочего) органа с наличием датчика его положения и механизмы с постоянной скоростью изменения его рабочего органа, но в которых отсутствует датчик положения этого органа. Указанные три типа исполнительных механизмов

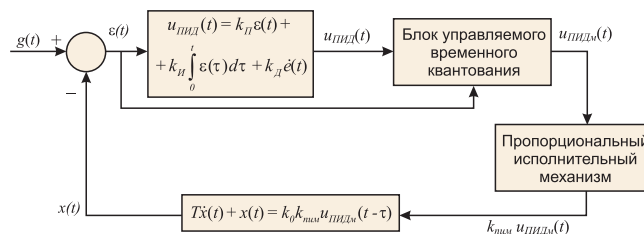


Рис. 1

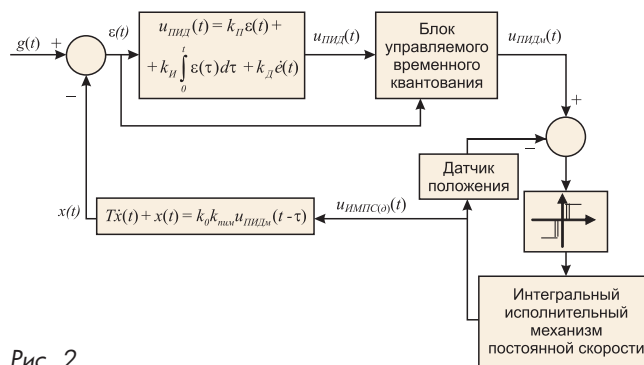


Рис. 2

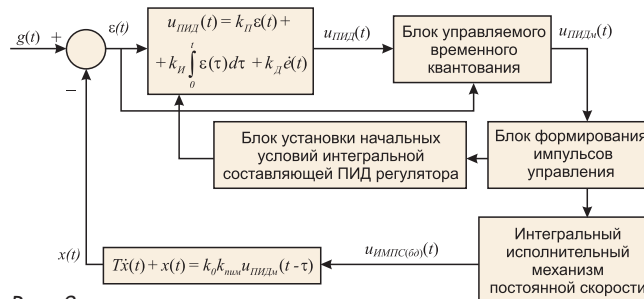


Рис. 3

Таблица 1

Тип регулятора	Ошибка	Время стабилизации	Перерегулирование
Стандартный ПИД	0,4404	3,924	5,2%
ПИД, квантование 0,2 с	0,7357	7,405	13,3%
ПИДм, квантование 0,2 с	0,6195	4,843	11,1%
ПИД, квантование 0,6 с	-	-	-
ПИДм, квантование 0,6 с	1,067	5,461	29,9%

задают три варианта построения ПИДм регуляторов (рис. 1, 2, 3).

Путем машинного моделирования сравним качественные показатели работы систем управления по схемам рис.1, 2 и 3 с обычным ПИД регулятором и с ПИДм регулятором при отработке ступенчатого задающего воздействия $g(t)$. При моделировании предполагалось, что передаточная функция объекта управления имеет вид

$$W_{ob}(p) = \frac{k_0 e^{-\tau p}}{(Tp + 1)},$$

где $k_0 = 2$, $T = 1$ и $\tau = 0,8$, что соответствует описанию типового общепромышленного объекта. Блок управляемого временного квантования был выполнен в максимально упрощенном виде, когда частота квантования незначительно зависела от модуля ошибки регулирования. Блок установки начальных условий в варианте 3 осуществляет на каждом шаге формирования импульсов управления установку начального значения на интеграторе ПИД регулятора на уровне

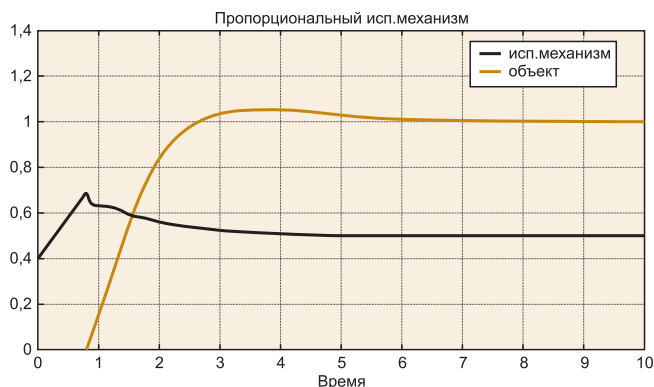


Рис. 4

среднего значения его линейной зоны. В этом случае работа системы управления по схеме рис. 3 практически совпадает с работой системы управления по схеме рис. 2. Поэтому при моделировании для оценки качества работы предлагаемого ПИДм регулятора с исполнительным механизмом постоянной скорости достаточно ограничиться, например, только системой рис. 2.

На рис. 4 показана отработка ступенчатого задающего воздействия стандартным ПИД регулятором с частотой квантования 100 Гц (штрих-пунктирная линия) и соответствующий ей сигнал управления (сплошная линия) с пропорциональным исполнительным механизмом.

На левых верхнем и нижнем рис. 5 показаны сигналы отработки ступенчатого задающего воздействия стандартным ПИД регулятором с частотами квантования 5 и 1,66 Гц (штрих-пунктирная линия) и соот-

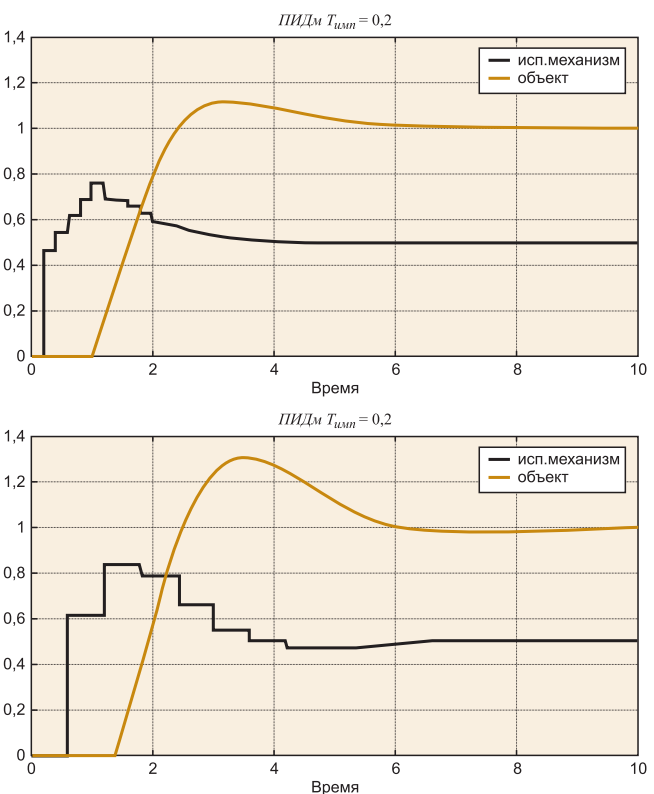
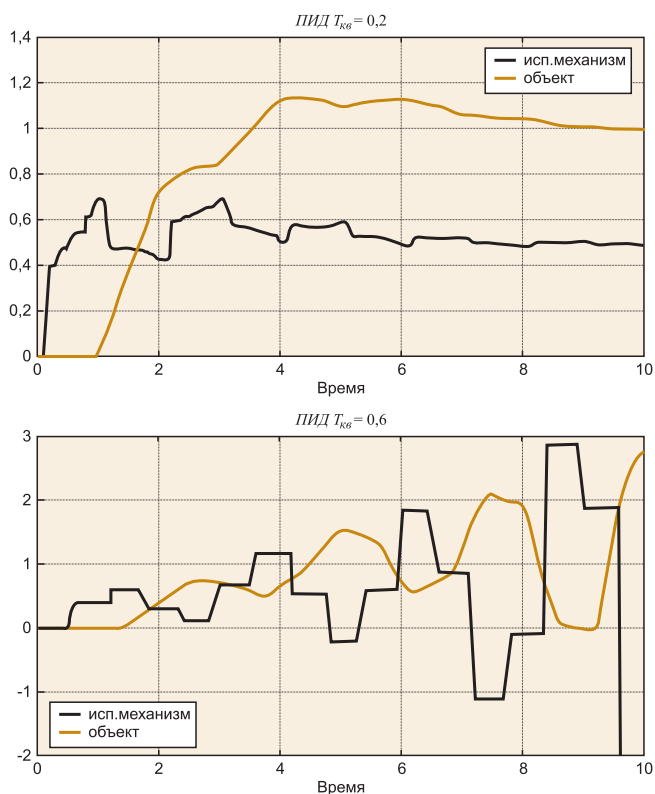


Рис. 5

Таблица 2

Тип регулятора	Ошибка	Время стабилизации	Перерегулирование
Эталонный ПИД	0,4743	4,425	6,6%
ПИД, квантование 0,2 с	0,7633	7,39	14%
ПИДм, квантование 0,2 с	0,6644	5,143	12,7%
ПИД, квантование 0,6 с	-	-	-
ПИДм, квантование 0,6 с	1,151	5,595	33%

ветствующие им сигналы управления (сплошная линия), на правых верхнем и нижнем рис. 5 – сигналы обработки ступенчатого задающего воздействия предлагаемым ПИДм регулятором с частотами квантования также 5 и 1,66 Гц (штрих-пунктирная линия) и соответствующие им сигналы управления (сплошная линия) по схеме рис. 1 с пропорциональным исполнительным механизмом.

Из рис. 4 и 5 следует, что качество регулирования при обработке ступенчатого задающего воздействия регулятором ПИДм с пропорциональным исполнительным механизмом даже при низкой частоте квантования 1,66 Гц практически такое же, как у стандартного ПИД регулятора, но при этом число изменений за единицу времени выходного сигнала ПИДм регулятора в 60 раз меньше, чем у стандартного ПИД регулятора с частотой квантования 100 Гц. Попытка уменьшить число изменений выходного сигнала стандартного ПИД регулятора до 5 Гц приводит к заметному снижению качества процессов регулирования (левый верхний график рис. 5), а при частоте

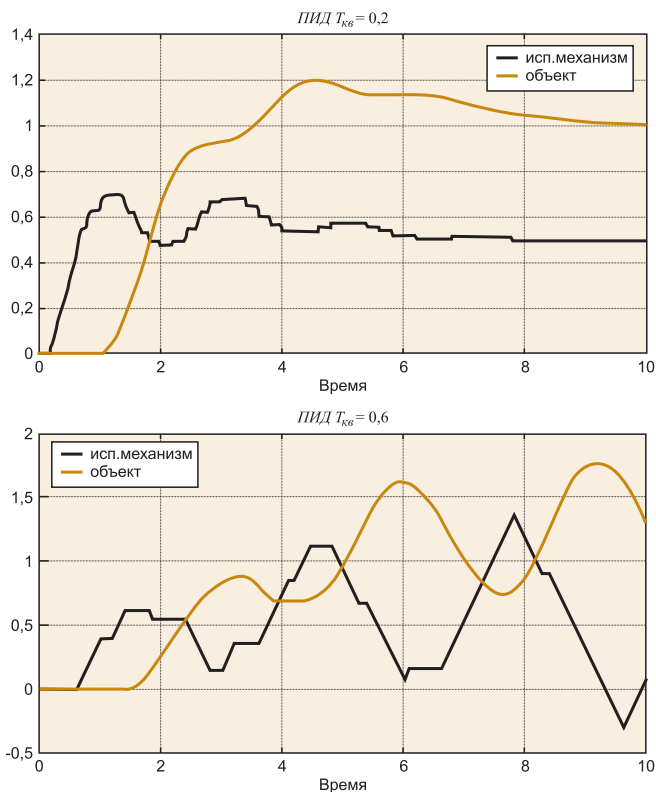


Рис. 7

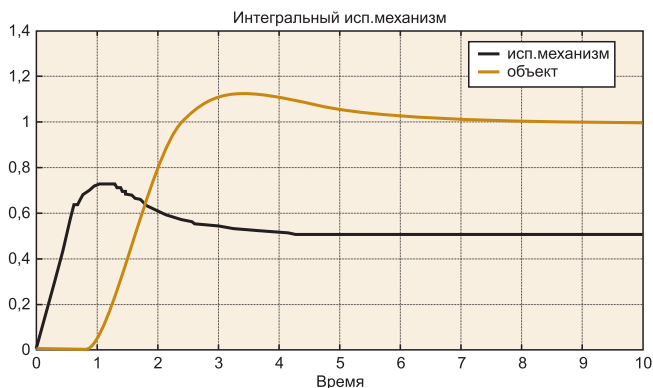


Рис. 6

1,66 Гц система теряет устойчивость (левый нижний график рис. 5).

В табл. 1 приведены оценки качества переходных процессов при работе всех трех регуляторов:

- интегральная ошибка:

$$I = \int_0^{10} e^2 dt;$$

- время стабилизации – время попадания регулируемой величины в 5% трубку от установившегося значения;

- перерегулирование.

На рис. 6 показана обработка ступенчатого задающего воздействия стандартным ПИД регулятором с частотой квантования 100 Гц (штрих-пунктирная линия) и соответствующий ей сигнал управления (сплошная линия) с интегральным исполнительным механизмом постоянной скорости 0,2 условных единицы в секунду.

На левых верхнем и нижнем рис. 7 показаны сигналы отработки ступенчатого задающего воздействия стандартным ПИД регулятором с частотами квантования 5 и 1,66 Гц (штрих-пунктирная линия) и соответствующие им сигналы управления (сплошная линия), на правых верхнем и нижнем рис. 7 – сигналы отработки ступенчатого задающего воздействия предлагаемым ПИДм регулятором с частотами квантования 5 и 1,66 Гц (штрих-пунктирная линия) и соответствующие им сигналы управления (сплошная линия) по схеме рис. 2 с интегральным исполнительным механизмом постоянной скорости 0,2 условных единицы в секунду.

Из рис. 6 и 7 следует, что качество регулирования при отработке ступенчатого задающего воздействия регулятором ПИДм с интегральным исполнительным механизмом постоянной скорости при низкой частоте квантования 1,66 Гц практически совпадает с качеством стандартного ПИД регулятора, но при этом число импульсов, поступающих на вход исполнительного механизма, в 60 раз меньше, чем у стандартного ПИД регулятора с частотой квантования 100 Гц. Уменьшение числа изменений выходного сигнала стандартного ПИД регулятора до 5 Гц приводит к снижению качества процессов регулирования (левый верхний график рис. 7), а при частоте 1,66 Гц система теряет устойчивость (левый нижний график рис. 7).

В табл. 2 приведены оценки качества переходных процессов при работе всех трех регуляторов с исполнительным механизмом постоянной скорости.

По результатам проведенного моделирования можно сделать вывод, что разработанный ПИДм регулятор может одинаково эффективно работать как с пропорциональными, так и с интегральными исполнительными механизмами постоянной скорости, обеспечивая при достаточно высоком качестве регулирования относительно малое число изменений его выходного сигнала, гарантируя тем самым высокий ресурс технических средств локальной автоматизации.

Список литературы

1. Шубладзе А.М., Гуляев С.В., Шубладзе А.А. Оптимальные автоматически настраивающиеся общепромышленные регуляторы // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика 2002. № 10.
2. Шубладзе А.М., Гуляев С.В., Ольшванг В.Р., Шубладзе А.А. Автоматически настраивающийся адаптивный промышленный регулятор (АНАП регулятор) // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика 2005. № 3.
3. Шубладзе А.М., Бобриков Н.М., Попадьюк В.Е., Якушева А.А. Исследование оптимальных по степени устойчивости решений при ПИ-управлении // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. 2008. № 1.
4. Шубладзе А.М., Гуляев С.В., Малахов В.А., Ольшванг В.Р., Бобриков Н.М. Адаптивный ПИД регулятор // Датчики и системы. 2008. № 1.
5. Шубладзе А.М. Методика расчета оптимальных по степени устойчивости ПИД-законов управления // Автоматика и телемеханика. 1987. № 6.

Шубладзе Александр Михайлович – д-р техн. наук, проф.,

Гуляев Сергей Викторович – канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник,

Ольшванг Владимир Рвфаилович – канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник,

Малахов Валерий Александрович – канд. техн. наук,

ст. науч. сотрудник Института проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН,

Кузнецов Сергей Иванович – ген. директор ОАО "НИИТеплоприбор",

Бобриков Николай Михайлович – начальник департамента,

Денисов Игорь Константинович – главный инженер проекта ОАО "Газавтоматика",

Контактный телефон (495) 334-88-81. E-mail: shub@ipu.ru

НОВАЯ КНИГА

Н.И. Поликарпова, А.А. Шалыто "Автоматное программирование".

СПб.: Питер, 2009. – 176 с.: ил. ISBN 978-5-388-00692-9

В книге рассматривается автоматное программирование – подход к разработке программных систем со сложным поведением, основанный на модели автоматизированного объекта управления (расширении конечного автомата). Предлагаемый подход позволяет создавать качественное программное обеспечение для ответственных систем, охватывая все этапы его жизненного цикла и поддерживая его спецификацию, проек-

тирование, реализацию, тестирование, верификацию и документирование. Книга предназначена для специалистов в области программирования, информатики, вычислительной техники и систем управления, а также аспирантов и студентов, обучающихся по специальностям "Прикладная математика и информатика", "Управление и информатика в технических системах" и "Вычислительные машины, системы, комплексы и сети".

Книга доступна в Internet-магазинах: <http://www.books.ru> и www.ozon.ru

Оформить подписку на журнал "Автоматизация в промышленности" вы можете:

- **в России** – в любом почтовом отделении по каталогу "Газеты. Журналы" агентства "Роспечать" (подписной индекс **81874**) или по каталогу "Пресса России" (подписной индекс **39206**).
 - **в странах СНГ и дальнего зарубежья** – напрямую или через подписные агентства-партнеры ЗАО "МК-Периодика".
- Информация о журнале имеется также на сайте ЗАО "МК-Периодика" – **www.periodicals.ru**

Все желающие, вне зависимости от места расположения, могут оформить подписку, начиная с любого номера, прислав заявку в редакцию или заполнив анкету на сайте **www.avtprom.ru**

В редакции также имеются экземпляры журналов за прошлые годы.