

2. Векшин А. М. Исследование процесса цилиндрического фрезерования древесины тонкими винтовыми ножами автореф. дисс... канд.техн.наук:– М., 1970. – 31 с.

3. Войтеховский Б. В., Гриневиц С. А. Особенности износа твердосплавного инструмента при фрезеровании ламинированных ДСтП наклонными ножами. // Труды БГТУ. Сер II, Лесная и деревообаб. пром-сть. – 2010. – Вып. XIX. С. 252–255.

4. Гриневиц С. А., Войтеховский Б. В. Исследование технологической стойкости при фрезеровании ламинированных древесностружечных плит наклонными резцами // Труды БГТУ. Сер II, Лесная и деревообаб. пром-сть. – 2010. – Вып. XVIII. – С.284–286.

5. Аникееенко А. Ф., Фридрих А. П. Рекомендации по методике проведения исследований в области механической обработки ламинированных древесностружечных плит // Труды БГТУ. Сер II, Лесная и деревообаб. пром-сть. – 2011. – Вып. XIX. – С. 313–317.

УДК 621.396.669.8

**Д.А. Гринюк, Н.М. Олиферович, И.Г. Сухорукова,
Т.А. Дейнека, А.О. Алешевич**
Белорусский государственный технологический университет
Минск, Беларусь

ПОДАВЛЕНИЕ ПОМЕХ В ЗАМКНУТЫХ КОНТУРАХ РЕГУЛИРОВАНИЯ

Аннотация. Для уменьшения влияния шумов измерительного канала на процесс регулирования в качестве фильтра был использован управляемый ограничитель. Предложены различные точки установки и варианты рассматриваемой структуры. Разработаны алгоритмы настройки системы с управляемым ограничителем для получения субоптимального подавления шумов.

**D.A. Hryniuk, N.M. Oliferovich, I.G. Sukhorukova,
T.A. Deineka, A.O. Aleshevich**
Belarusian State Technological University
Minsk, Belarus

INTERFERENCE SUPPRESSION IN CLOSED CONTROL LOOPS

***Abstract.** To reduce the influence of noise from the measuring channel on the control process, a controlled limiter was used as a filter. Various installation points and variants of the structure under consideration are proposed. Algorithms have been developed for tuning a system with a controlled limiter to obtain suboptimal noise suppression.*

Сегодня появилось много решений по улучшению динамики регулирования за счет введения в структуру регулирования ПИД-регулятора элементов ускоренного реагирования на изменения разности между выходным сигналом от измерительного преобразователя и сигналом задания [1]. Здесь проявился недостаток классического ПИД-регулирования: сложность обеспечения быстродействия при наличии высокого уровня шумов в измерительном канале. Эта проблема еще больше усугубляется преобразованием аналогового сигнала в цифровой в технических устройствах регулирования. По этой причине большинство типичных алгоритмов ПИД-регулирования имеют различные варианты встроенных решений по сглаживанию тренда от измерительного устройства. В некоторых присутствует фильтр низкой частоты (ФНЧ) первого порядка. В аналоговых устройствах это было реализовано на резисторах и конденсаторах. В цифровых устройствах автоматизации можно встретить или цифровую реализацию ФНЧ, или фильтр бегущего среднего.

Использование нелинейных фильтров для решения проблемы шумов не является редким. Как уже отмечалось выше, некоторые технические устройства имеют встроенный фильтр бегущего среднего. Иногда там же присутствует функция исключения из текущих значений, значения с наибольшим отклонением. Фильтр Калмана тоже по сути является нелинейным фильтром. Используют его для фильтрации с применением метода наименьших квадратов ФМНК [2].

Фильтр бегущего среднего и ФМНК демонстрируют лучшую динамику на переходных процессах. Однако следует отметить, что для них характерен проигрыш ФНЧ по цене и качеству при стационарных режимах. Выходом может быть комбинация работы ФНЧ и ФМНК в зависимости от текущей динамики [3].

Управляемый ограничитель является нелинейным прибором, поэтому эффективность места его установки во многом зависит от целей и динамики объекта управления.

Одним из вариантов подавления является использование управляемых ограничителей (ФУО). В случае необходимости обеспечить снижение шумов не только для повышения надежности работы исполнительного механизма, но и для удобства наблюдения за техническим параметром, ФУО следует располагать после

измерительного преобразователя. При необходимости обеспечить легкий режим работы только исполнительного механизма ФУО можно установить уже после вычисления ошибки. Частным случаем такого варианта может быть установка управляемого ограничителя уже после усиления сигнала ошибки. Особенно, если коэффициент усиления регулятора значительно больше 1. Это улучшит его работу, поскольку всегда существуют ограничения, связанные с цифровой обработкой информации. Как вариант, можно использовать ФУО только для пропорциональной kp и дифференциальной td составляющих регулятора, поскольку интегральная часть ti сама по себе хорошо снижает влияние шума. Фильтрацию с помощью управляемого ограничителя лучше производить только для контура обратной связи, так как он может вносить существенные нелинейные искажения в измерительный канал. Для контроля за параметрами лучше применять классические подходы к фильтрации.

Может быть предложено несколько вариантов структур управляемого ограничителя (рис. 1), в которых коэффициент a формирует некоторое компромиссное значение между уровнем снижения амплитуды помех и временными задержками.

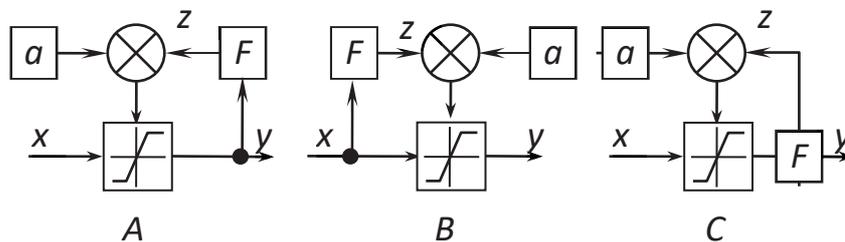


Рис. 1 -Структуры ФУО: F – сглаживающий фильтр; z – сигнал после фильтра

Значение z в самом простом случае может представлять параметр на выходе фильтра с управлением уровнем ограничения функции верхней и нижней границы:

$$\begin{cases} s_{up} = \bar{x} + a, \\ s_{down} = \bar{x} - a. \end{cases} \quad (1)$$

Для уменьшения временных задержек при динамическом изменении входного параметра x рациональным будет учитывать и скорость изменения входного параметра. Например, формировать уровень ограничения по функции

$$\begin{cases} s_{up} = \bar{x} + \left| b \frac{d\bar{x}}{dt} \right| + a, \\ s_{down} = \bar{x} + \left| b \frac{d\bar{x}}{dt} \right| - a, \end{cases} \quad \text{или} \quad \begin{cases} s_{up} = \bar{y} + \left| b \frac{d\bar{y}}{dt} \right| + a, \\ s_{down} = \bar{y} + \left| b \frac{d\bar{y}}{dt} \right| - a. \end{cases} \quad (2)$$

Еще одним вариантом может быть каскадное построение ФУО, при котором последующий каскад будет иметь меньшее значение a , чем предыдущий.

Для оценки предложена структура замкнутого регулирования, представленная на рис. 2. Для комплексной оценки предложенного решения в данной структуре величина запаздывания принимала значения $\tau = [0,1 \ 1 \ 5 \ 15]$.

Дисперсия создавалась встроенным генератором в Matlab со значениями $R = [0 \ 0,00003 \ 0,0001 \ 0,0003 \ 0,001 \ 0,003 \ 0,01]$.

Для выбора критерия настройки была произведена настройка данной структуры по различным интегральным критериям.

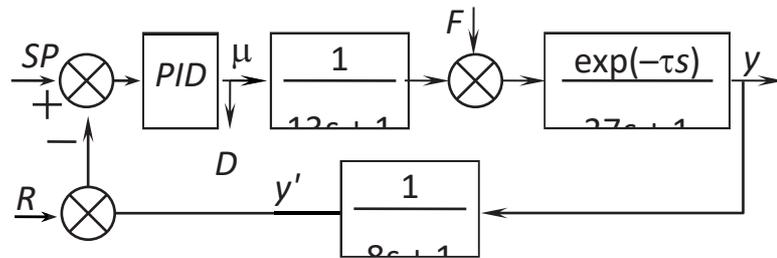


Рис. 2 - Структура объекта исследования: y' – сигнал датчика, s – оператор передаточной функции в преобразовании Лапласа

$$IAE = I_1 = \int_0^{t_M} |x| dt \rightarrow \min; \quad (3) \quad ITAE = I_2 = \int_0^{t_M} |x| t dt \rightarrow \min; \quad (4)$$

$$I_3 = \int_0^{t_M} |x| t^2 dt \rightarrow \min; \quad (5) \quad I_4 = \int_0^{t_M} (|x| + |u|) dt \rightarrow \min; \quad (6)$$

$$ISE = I_5 = \int_0^{t_M} x^2 dt \rightarrow \min; \quad (7) \quad I_6 = \int_0^{t_M} x^2 t dt \rightarrow \min; \quad (8)$$

$$I_7 = \int_0^{t_M} x^2 t^2 dt \rightarrow \min; \quad (9) \quad I_8 = \int_0^{t_M} (x^2 + u^2) dt \rightarrow \min. \quad (10)$$

Результат настройки можно видеть в таблице 1. Наличие шума больше влияет на критерии с временным штрафом I_2 – I_3 . Отличие в настройках для квадратичных критериев I_5 – I_8 незначительны.

Таблица 1- Настройки ПИД-регулятора для критериев I_1-I_8

ПИД	R	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5	I_6	I_7	I_8
kp	R_1	3,98	3,27	2,82	1,05	3,84	3,96	3,57	0,995
	R_6	3,92	2,95	2,35	1,04	3,88	3,93	3,47	0,852
ti	R_1	13,7	16,5	18,8	51,5	9,29	12,5	14,7	49,5
	R_6	14,1	18,1	22,2	51,6	9,39	12,7	15,4	50,0
td	R_1	59,6	39,5	31,5	0,0091	94,1	63,8	48,0	9,20
	R_6	58,7	34,4	24,6	0,0001	93,5	62,5	45,0	0,0003

В результате введения ФУО значения интегрального критерия, по которому были настроены контуры регулирования, показали изменение меньше чем на 1%. Более того, время переходного процесса за редким исключением уменьшилось. Если время переходного процесса изменилось незначительно, то дисперсия уменьшилась на несколько порядков (таблица 2).

Таблица 2 - Отношение дисперсии без ФУО и с ФУО при минимизации по ВВП

τ	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6	R_7
0,1	697,0	2162	7774	24545	58223	148320
1	698,6	2159	7757	24525	53237	195344
5	698,0	2155	7671	19904	35530	152292
15	928,3	2636	8259	15825	16050	31093

Из рассмотренных вариантов самые лучшие результаты продемонстрировал ДФУО. Применение для определения ФВЧ позволит получить еще больший эффект. Такие результаты может продемонстрировать и алгоритм квадратичного сглаживания, что будет проверено в следующих работах. Более подробно материал представлен в [5]

Для прикладного использования следует рекомендовать следующий последовательный синтез: 1. Настройка ПИД-регулятора с учетом параметров шума с помощью интегрального критерия. Вариация только sample time можно обеспечить минимум интегрального критерия. После этого получаем по формулам три настройки регулятора. 2. Находим настройки для статического ФУО, обеспечивая в первую очередь подавление шумов. 3. Настраиваем ФНЧ или другое решение, для увеличения ограничения при динамических процессах и обеспечения быстродействия.

Список использованных источников

1. Somefun O.A., Kayode A., Folasade D. The dilemma of PID tuning // Annual Reviews in Control. 2021. No. 52. P. 65–74.
2. Оптимизация параметров фильтра с управляемым ограничителем для слабых сигналов / Д. А Гринюк [и др.] // Наука и Техника. 2003. № 5. С. 32-34. DOI: 10.21122/2227-1031-2003-0-5-32-34.
3. Гринюк Д. А., Олиферович Н.М., Сухорукова И.Г. Использование алгоритмов аппроксимации для сглаживания трендов измерительных преобразователей // Труды БГТУ. Сер. 3, Физико-математические науки и информатика. 2017. № 2 (200). С. 82–87.
4. Bialecki Y., Hryniuk D. Controlled Limiter in the Synchronous Detection Circuit // Science – Future of Lithuania. Electronics and Electrical Engineering, 2017. Vol. 9, issue 3. P. 289–292.
5. Гринюк Д.А., Олиферович Н. М, Сухорукова И. Г., Дейнека Т. А., Клютко М. В. Уменьшение влияния помех измерительного канала на замкнутую систему регулирования // Труды БГТУ. Сер. 3, Физико-математические науки и информатика. 2023. № 2 (261). С. DOI:10.52065/2520-6141-2023-272-2-11.

УДК 691-413

**И.М. Грошев¹, Ю.В. Дойлин¹, А.А. Кожемяко¹, К.И. Тарутько¹
Е.В. Дубоделова², А.Д. Заровский³**

¹ОАО «Витебскдрев»

Витебск, Беларусь

²Белорусский государственный технологический университет

³ООО «ФедВар»

Минск, Беларусь

СПОСОБ ПРОИЗВОДСТВА ДРЕВЕСНОВОЛОКНИСТОЙ ПЛИТЫ СРЕДНЕЙ ПЛОТНОСТИ СУХОГО СПОСОБА ПРОИЗВОДСТВА ПОВЫШЕННОЙ ВОДОСТОЙКОСТИ

Аннотация. Рассматривается способ приготовления древесноволокнистой плиты средней плотности сухого способа производства повышенной водостойкости для использования во влажных зонах.