

данных требуется достаточное знание системы и уровня неопределенностей, что и является целью самого проектирования входных данных. Таким образом, идентификация – это неизбежное итеративное упражнение.

С учетом данных факторов, а также увеличения параметров контроля на технологических объектах в последнее время нашли широкое применения для подмены «исследователя» применения нечетких, нейронных и гибридных систем. Специфика данных систем в общем случае помогает принять решения по адекватности структуры модели и найденным параметрам [5].

Литература

1. Principles of system identification : theory and practice. Tangirala, Arun K., Boca Raton : CRC Press, Taylor & Francis Group, 2015. p. 881.
2. Oliferovich N., Hryniuk D., Orobei I. Harmonic identification of technological objects in real time // 2016 Open Conference of Electrical, Electronic and Information Sciences (eStream 2016), Vilnius, Lithuania, 21 April 2016, – pp. 1–4.
3. Oliferovich N., Hryniuk D., Orobei I. The use of harmonic identification algorithms to air heat exchanger // 2017 Open Conference of Electrical, Electronic and Information Sciences (eStream) April 2017, p. 1–5.
4. Д. А. Гринюк Д. А., Н. М. Олиферович, И. О. Оробей Алгоритмы гармонической идентификации для технологических объектов и их апробация на тепловом объекте. // Труды БГТУ. Сер. 3, Физико-математические науки и информатика. – Минск : БГТУ, 2017. – № 2 (200). – С. 76–81.
5. Boutalis Y., Theodoridis D., Kottas T., Christodoulou M. A. System identification and adaptive control: theory and applications of the neurofuzzy and fuzzy cognitive network models. // Springer, Heidelberg, P. 312.

УДК 655.52-529

**Гринюк Д.А., Олиферович Н.М.,
Сухорукова И.Г., Роленок Д.И.**
(БГТУ)

ЭФФЕКТИВНОЕ ПОДАВЛЕНИЕ ПОМЕХ В СИСТЕМАХ РЕГУЛИРОВАНИЯ

Вопросам усовершенствованного управления при автоматизации технологических процессов сейчас уделяется большое внимание. Техническая база позволяет имплементировать теоретические решения теории управления любой сложности. Однако наложение физических

ограничений и свойства реальных объектов, каналов измерения и управления не всегда приводит к повышению эффективности.

Инвариантные системы управления позволяют уменьшить влияние внешних возмущений на процесс протекания технологического управления. Наиболее они эффективны при использовании в сочетании с регулятором обратной связи.

Вариантами построения системы могут быть структуры на рис. 1. Расчетные формулы компенсаторов для них будут следующие:

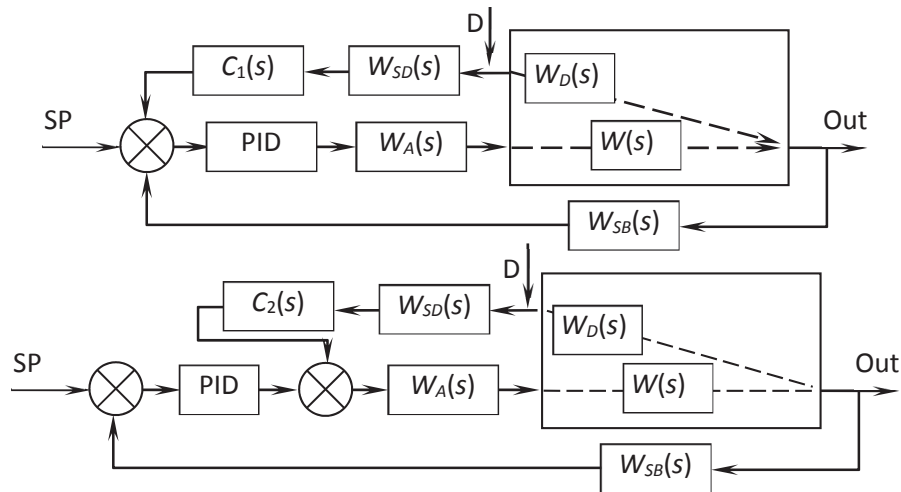


Рисунок 1 – Инвариантные систем.

$C(s)$ – компенсатора; $W_{SD}(s)$ – контроль возмущения;
 D – возмущение; $W_D(s)$ – передаточная функция канала возмущения;
 $W(s)$ – передаточная функция основного канала; SP – сигнал задания;
 PID – регулятора обратной связи; $W_A(s)$ – исполнительный механизм;
 $W_{SB}(s)$ – контроль основного параметра; Out – выход

$$C_1(s) = \frac{W_D(s)}{W(s) W_A(s) PID W_{SD}(s)}; \quad (1)$$

$$C_2(s) = \frac{W_D(s)}{W(s) W_A(s) W_{SD}(s)}. \quad (2)$$

Структура рис. 1 а, несмотря на теоретический эквивалент рис. 1 б, обладает следующими недостатками: любое возмущение имеет шумовую составляющую, что может привести к колебанию выходного параметра; ненулевое математическое ожидания канала возмущения фактически изменит сигнала задания; вариации параметров динамики будет способствовать разбалансу проектируемой системы; современные системы используют ПИД с автоподстройкой, что потребует и автоматическое изменение параметров компенсатора.

Общей проблемой построение компенсаторов является их реализуемость [1]. Наличие запаздывания, более высокий порядок числителя чем знаменателя и т.д. приводит к необходимости прибегать к приближенным решениям даже на этапе математического моделирования.

Еще одна проблема – это реализация расчетных формул в технических средствах управления. Поэтому, при построении большинства компенсаторов для систем управления технологическими процессами, можно рекомендовать ограничиться передаточными функциями первого порядка:

$$C_A = k; C_{LP} = \frac{k}{T_S + 1}; C_{HP} = \frac{k s}{T_S + 1}; C_{FP} = k \frac{T_1 s \pm 1}{T_2 s + 1}, \quad (3)$$

где C_A – просто усилительное звено; C_{LP} – фильтр низкой частоты; C_{HP} – фильтр высокой частоты; C_{FP} – форсирующее звено.

Численные значения компенсаторов могут быть получены или путем математического аппарата приближенных решений [3] или математического моделирования путем минимизации интегральных критериев качества [4-5]. Хорошие результаты можно получить путем анализа спектра реальных возмущений.

В качестве примера можно рассмотреть, например структуру (рис. 2), которая было получена для системы стабилизации температуры при сушке текстолитовых плат. Управление осуществляется путем регулирования частоты оборотов двигателя, с которого и осуществляется теплоотъем. В качестве возмущающего фактора выступала температура воздуха.

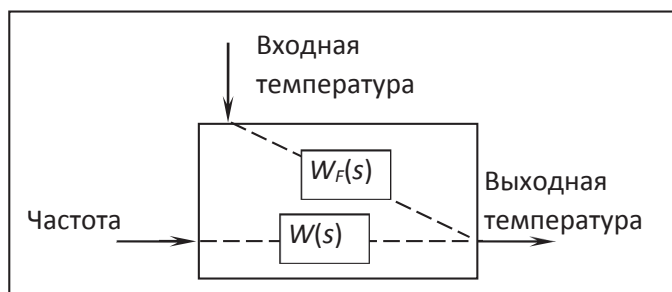


Рисунок 2 – Структурная схема управления процессом сушки

Расчет по формуле (2) привел к следующему виду компенсатора

$$W_k = \frac{0,02936(5707s^2 + 334,1s + 1)}{0,7296s^2 + 16,05s + 1}. \quad (4)$$

Данная передаточная функция практически не пригодна для использования в прикладных решениях. Вторые производные вместе с всегда присутствующими шумами в измерительном тракте будут

приводить к большим отклонениям выходного параметра. Поэтому была произведена процедура понижения параметров.

Исходя и вида компенсатора, были проверены три варианта компенсатора. Как и должно следовать из анализа формулы (4), лучшее качество позволяет получить компенсатор – форсирующее звено (3). Графики переходных процессов (рис. 3) показывают, что форсирующее звено только незначительно уступает решению с полной компенсацией.

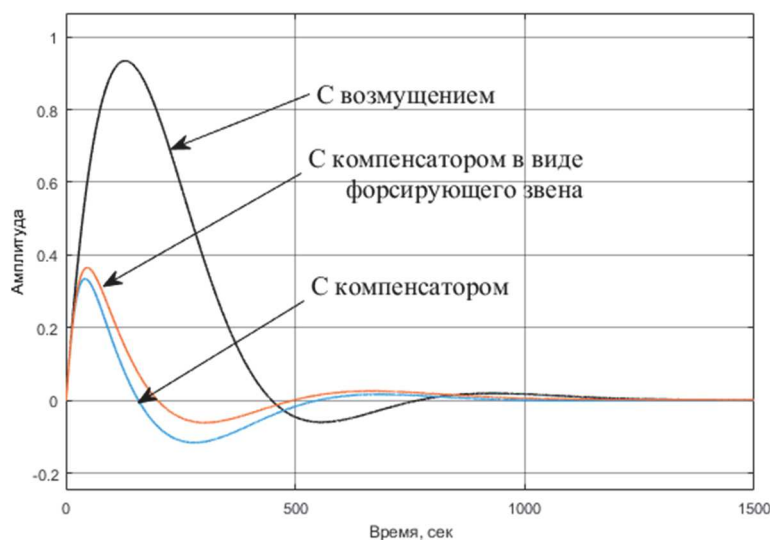


Рисунок 3 – Сравнение переходных процессов

Настройка параметров компенсатора производилась путем минимизации интегрального критерия [4].

$$\int_0^{tf} |e| dt \rightarrow \min \quad (4)$$

где e – значение выходного параметра; tf – время выходного процесса, фактически время моделирования.

Предложенный алгоритм, настроек компенсаторов является универсальный, и может быть использован для широкого класса объектов. В системах управления широко используются электрические привода управления клапанами, которые всегда содержат нелинейности. Управление двигателями настроено на фактически перемещение клапана к новому положению с постоянной скоростью. Данная нелинейность накладывает существенные ограничения на возможность эффективной реализации процесса формирования резких фронтов для компенсации возмущений.

Следует отметить еще один аспект, реальные возмущения, которые действуют на объекты правления, редко представляют собой воздействия, которые используются при имитационном моделировании в математических пакетах. Нелинейные свойства, которые в той или иной

степени присутствуют всем объектам управления, предполагают свои варианты оптимальных компенсаторов. Поэтому, получение априорных данных о существующих возмущениях, является первоочередной задачей для нахождения «идеального» компенсатора. Использование интегральных критериев для настройки компенсаторов при имитационном моделировании реальных объектов позволяет учесть многие аспекты для качественного регулирования.

Литература

1. Карпович, Д. С. Особенности проектирования системы управления гиросtabilизированного опорно-поворотного устройства / Д. С. Карпович, И. О. Оробей, В. В. Сарока // Тезисы докладов 81-й научно-технической конференции, Минск, 1–12 февраля 2017 г. Минск: БГТУ, 2017. С. 78.
2. Автоматическое управление в химической промышленности / под ред. Е. Г. Дудникова. – М.: Химия, 1987. – 368 с.
3. Дорф Р., Бишоп Р. Современные системы управления. пер. с англ. Б. И. Копылова. М.: Лаборатория базовых знаний, 2002. 832 с.
4. Гринюк Д.А., Оробей И.О., Кузьмицкий И.Ф. Численное исследование алгоритмов уменьшения интегрального насыщения // Труды БГТУ. Сер. VI. Физ.-мат. науки и информ. 2005. Вып. XIII. С.140–143.
5. D. Hryniuk, I. Suhorukova, N. Oliferovich and I. Orobei, "Complex tuning of the PID controller according to integral criteria," 2018 Open Conference of Electrical, Electronic and Information Sciences (eStream), Vilnius, 2018, pp. 1–4, doi: 10.1109/eStream.2018.8394117.

УДК 621.3

Дягилева Н.С.

(филиал БГТУ Белорусский государственный
колледж промышленности строительных материалов)

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕЖСИСТЕМНЫХ ПЕРЕТОКОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ С ЦЕЛЬЮ МИНИМИЗАЦИИ ЗАТРАТ В НЕФТЕХИМИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ

Тарифы на электроэнергию и плата за электропотребление. Промышленные предприятия должны осуществлять расчеты за электроэнергию с энергоснабжающей организацией за расчетный период (месяц, квартал, год). Для промышленных потребителей применяются одно- и двухставочные тарифы на электроэнергию.