

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ТЕРМОМЕТРА СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ

А.А. Стопакевич, кандидат технических наук, доцент Одесской национальной академии связи им. Попова



Предложена схема имитационного моделирования погрешности термометров сопротивления для использования при разработке систем управления в составе современных информационно-управляющих систем. На примере системы управления теплообменником показано, что

учет погрешности при имитационном моделировании позволяет более точно оценивать качество управления.

The scheme for the error simulation modeling of resistance thermometers to be used in the development of management systems included in modern information management systems is proposed. Using the example of the heat exchanger management system it was shown that the error accounting while simulation modeling allows the more accurate evaluation of the management quality.

Постановка проблемы. Развитие автоматизации производства и переход на технологию сенсорных сетей в информационно-управляющих системах остро ставит проблему как повышения качества функционирования систем управления, так и имитационного моделирования их работы. В процессе моделирования систем управления необходимо учитывать влияние погрешностей датчиков технологических параметров. Статья решает задачу исследования влияния погрешности датчика температуры, для определенности — платинового термометра сопротивления класса А, на качество функционирования системы автоматического управления (САУ) температуры. Влияние характеристик остальных элементов системы на качество регулирования находится вне пределов данного исследования, поскольку не касается задач метрологии.

Анализ литературы. Задача измерения температуры с помощью термометров сопротивления исследована во множестве литературных источников. В первую очередь, основные требования к термометрам описаны в стандарте [1]. Далее, погрешности подробно исследованы, например, в литературных источниках [2–6]. Ана-

лиз литературы показывает, что если погрешности датчиков в значительной степени исследованы и нормированы, то задача исследования случайного процесса изменения погрешности датчика в процессе непрерывного съема показаний в САУ исследована недостаточно.

Имитационное моделирование функционирования датчика температуры. При построении схемы имитационного моделирования будем принимать во внимание исключительно технические характеристики, указанные в паспортных данных датчика. Такими характеристиками, в частности, являются предел погрешности датчика и динамическая характеристика [7]. Предел погрешности, в соответствии со стандартом [1], для термометра сопротивления определяется классом допуска. Например, для платинового термометра сопротивления класса допуска А предел погрешности измерения температуры определяется по формуле

$$t_{\text{ME}} = \pm 0,15 + 0,002|t|,$$

где $|t|$ — абсолютное значение температуры, °С; t_{ME} — максимальная погрешность измерения при заданной температуре.

В соответствии с ГОСТ Р 51086-97 [8], погрешность датчика изменяется случайным образом при повторных измерениях. А в соответствии с ГОСТ 8.009-84 [7], такая случайная погрешность датчика представляет собой центрированный случайный процесс. Параметром такого процесса является среднеквадратическое отклонение, а математическое ожидание равно нулю. Тогда, приняв по рекомендации [9] доверительную вероятность равной 95 %, определим, что среднеквадратическое отклонение σ может быть определено по формуле

$$\sigma = t_{\text{ME}} / 2,58.$$

Динамическая характеристика термометра сопротивления чаще всего задается тепловой инерцией, которая, в соответствии со стандартом [10], численно равна интервалу времени, по истечении которого разница между температурами среды и датчика составляет 0,368 от первоначальной

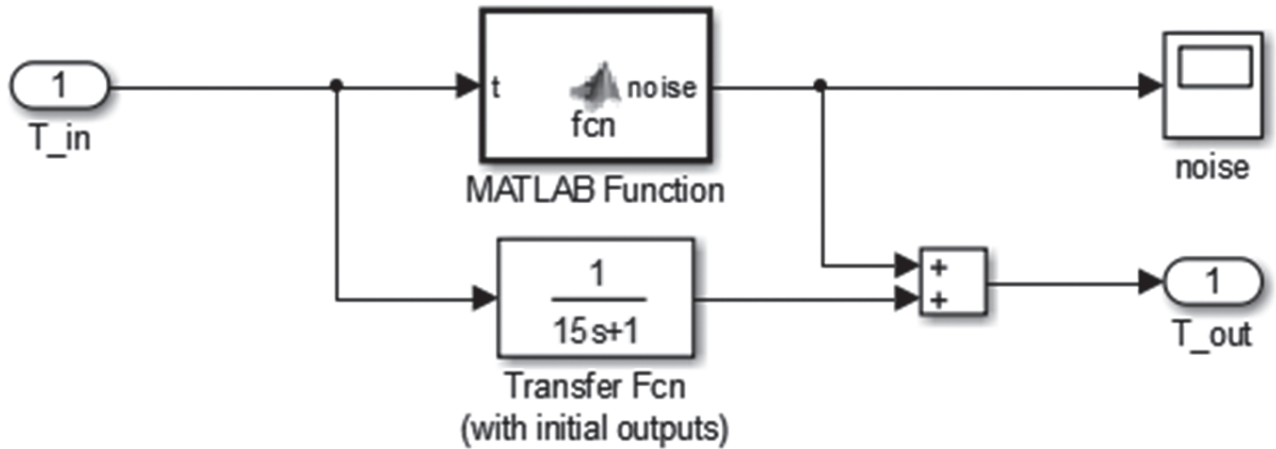


Рис. 1. Схема блока имитационной модели датчика температуры

разности, то есть составит 0,632 от разности конечного и начального значений. В качестве модели, характеризующей тепловую инерцию, в частности, в соответствии с рекомендациями ОСТ 1.00334-79 [11] и книг [12,13], можно принять инерционное звено первого порядка, в котором показатель тепловой инерции равняется постоянной времени этого звена. Тогда модель можно записать в виде

$$W_{TS}(s) = \frac{1}{T_{TS}s + 1},$$

где T_{TS} – показатель тепловой инерции.

В качестве примера рассмотрим датчик ТСП 012-011 класса А [14] с показателем тепловой инерции, равным 15 с. Структурная схема моделирования блока выбранного датчика температуры в программе Matlab Simulink представлена на рис. 1.

Блок имитационной модели датчика температуры содержит два основных подблока: подблок переда-

точной функции (transfer function) и подблок функции на языке Matlab. Функция Matlab имеет следующий вид:

```
function noise = fcn(t)
t_me=0.15+0.002*t;
sr_otkl=(t_me/2.58);
noise = sr_otkl*rand(1,1)*2-sr_otkl;
end
```

Результаты моделирования погрешности датчика температуры в окрестности температуры 90 °С приведены на рис. 2.

Имитационное моделирование системы управления температурой. Исследуем влияние погрешности датчика температуры на качество функционирования САУ парожидкостным теплообменником. Структурная схема имитационной модели САУ в Matlab Simulink представлена на рис. 3. Для моделирования динамики теплообменника выберем следующие условия работы: расход воды – 10 кг/с; расход пара – 0,87 кг/с; начальная температура воды – 20 °С; конечная температура воды – 90 °С.

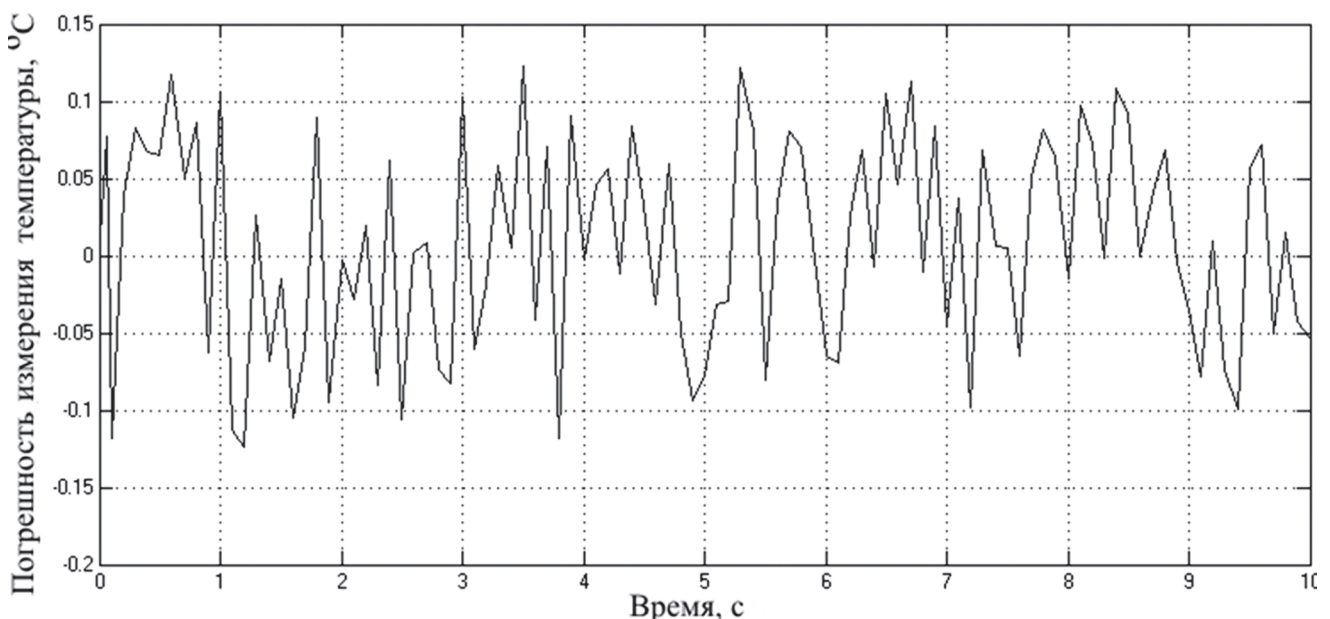


Рис. 2. Результаты моделирования погрешности датчика температуры

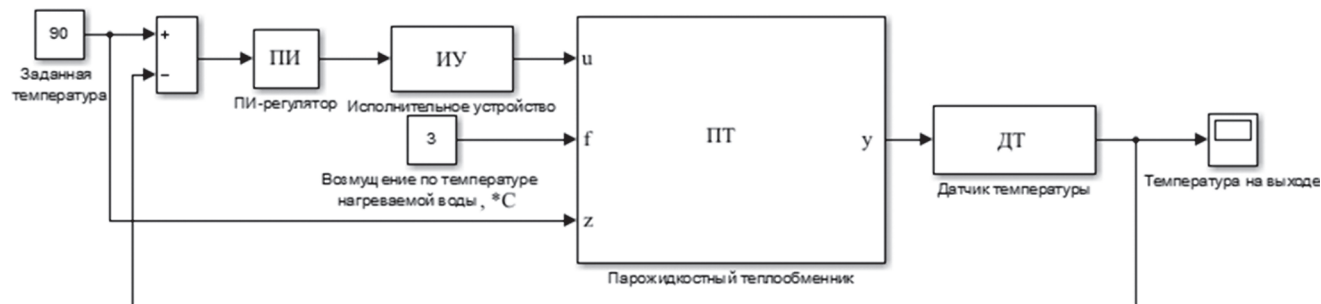


Рис. 3. Структурная схема САУ температуры

Результаты имитационного моделирования САУ при уменьшении температуры нагреваемой воды на 3 °С как с учетом модели датчика температуры, так и без учета модели датчика приведены на рис. 4.

Выводы. Проведено исследование учета влияния погрешности термометра сопротивления в схеме имитационного моделирования САУ парожидкостным теплообменником. Исследование показало, что учет паспортных метрологических характеристик датчика температуры и, соответственно, его модели при моделировании САУ позволяет более точно оценить качество переходных процессов в системе при действии возмущения. Из рис. 4 видно, что процессы в модели САУ, с учетом модели датчика и без учета этой модели, отличаются, особенно в области максимальных отклонений, по которым в значительной степени судят о качестве регулирования.

Перспективы исследования. При разработке современных систем управления сложными технологическими объектами большое значение имеет точность используемых математических моделей. Особенно это касается многомерных систем управления, качество работы которых

во многом зависит от точности используемых средств измерения и учета их погрешности при имитационном моделировании. Поэтому разработка схем моделирования распространенных в промышленности датчиков с учетом их погрешностей является перспективной научной задачей. Учет погрешностей датчиков и погрешностей воспроизведения управляющих воздействий исполнительных устройств позволит повысить качество разрабатываемых современных прецизионных систем управления технологическими процессами.

Список литературы

1. Термопреобразователи сопротивления из платины, меди и никеля. Общие технические требования и методы испытаний: ГОСТ 6651-2009. – М: Стандартинформ, 2011.
2. *Гриневиц Ф.Б.* Особливості та метрологічні характеристики платинових термоперетворювачів опору / Ф.Б. Гриневиц, Д.В. Мелешук // Технічна електродинаміка.— 2001.— № 6.— С. 66–68.
3. *Crovini R.* Resistance Thermometers / R. Crovini // Sensors. A Comprehensive Survey. Thermal

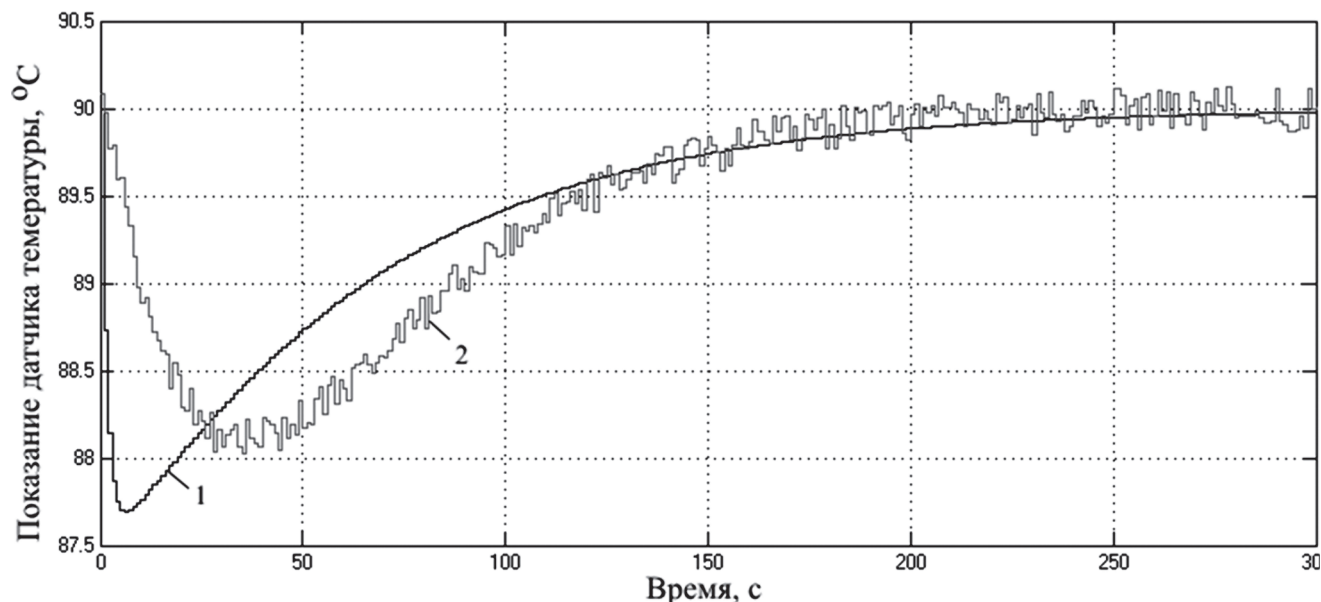


Рис. 4. Результаты моделирования переходных процессов в САУ: 1 – без моделирования погрешности; 2 – с учетом погрешности

- Sensors. – NY: VCH Publishers, 1992.– V.4.– P. 69–119.
4. Моисеева Н.П. Неопределенность значения температуры, измеренной платиновым термометром сопротивления / Н.П. Моисеева // Приборы. – 2002. – № 12. – С. 30–34.
 5. Моисеева Н.П. Выбор интерполяционного уравнения для платинового термометра сопротивления / Н.П. Моисеева // Измерительная техника. – 2010. – № 6.– С. 34–38.
 6. Improvements to the Johnson noise thermometry system for measurements at 505–800 K / K. Yamazawa, W.L. Tew, A. Pollarolo [et al.] // Temperature: Its Measurement and Control in Science and Industry: Proceedings of the Ninth International Temperature Symposium.–Melville, NY: AIP Publishing, 2013.– V. 8.– P. 23–29.
 7. ГСИ. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений: ГОСТ 8.009-84.
 8. Датчики и преобразователи физических величин электронные. Термины и определения: ГОСТ Р 51086-97.
 9. Новицкий П.В. Оценка погрешностей результатов измерения / П.В. Новицкий, Н.В. Зограф. – Л.: Энергоатомиздат, 1991.
 10. Нормирование и определение динамических характеристик аналоговых средств измерений: ГОСТ 8.256-77. – М: Изд-во стандартов, 1977.
 11. Отраслевая система обеспечения единства измерений. Датчики температуры. Динамические характеристики: ОСТ 1.00334-79.
 12. Танатар А.И. Элементы промышленной автоматики и их динамические свойства / А.И. Танатар.–К.: Техніка, 1975.
 13. Муратов В.Г. Метрологія, технологічні вимірювання та прилади / В.Г. Муратов.– К.: Освіта України, 2012.
 14. ООО “Контакт прибор”. Преобразователи электрические ТСМ, ТСП [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://kontakt-pribor.ru/katalog/sredstva-dlya-izmereniya-i-regulirovaniya-temperatury/termopreobrazovateli-soprotivleniya-preobrazovateli-termoelektricheskie-termopary/290-preobrazovateli-termoelektricheskie-tsm-tsp>