

УДК 519.876.5

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФУНКЦИИ НЕЧЕТКОГО ЛОГИЧЕСКОГО ВЫВОДА В ВИРТУАЛЬНЫХ ИЗМЕРЕНИЯХ

С. В. БОРИСЁНОК, О. К. ГУСЕВ, А. К. ТЯВЛОВСКИЙ

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Под виртуальными измерениями в рамках настоящего исследования понимается моделирование процесса измерений с использованием цифровых двойников средств измерений (измерительных приборов). Целью виртуальных измерений является не определение значения физической величины, а анализ метрологических характеристик самого средства измерений в реальных (в том числе изменяющихся) условиях эксплуатации и заблаговременное прогнозирование его метрологического отказа. Принятые в настоящее время нормы предусматривают периодическую поверку (калибровку) средств измерений через фиксированные межповерочные интервалы. Интервалы устанавливаются заведомо меньшими ожидаемого времени наступления метрологического отказа, что, с одной стороны, приводит к непроизводительным расходам на поверку исправных средств измерений, а с другой – не позволяет определить время метрологического отказа, произошедшего между двумя поверками (таким образом, все результаты измерений на межповерочном интервале должны *post factum* считаться недостоверными), и не исключает возникновение временного метрологического отказа при эксплуатации средства измерений в условиях, отличных от условий поверки. Таким образом, возможность прогнозирования метрологических отказов является ключевым фактором повышения надежности измерений при одновременном снижении экономических издержек, позволяя перейти от фиксированных межповерочных интервалов к эксплуатации средств измерений «по состоянию».

В виртуальных измерениях используется цифровой двойник измерительного прибора [1], на вход которого в виде числовых значений подается комбинация параметров, характеризующих условия эксплуатации реального прибора. Если задача измерений заключается в заблаговременном предсказании метрологического отказа, для формирования данной комбинации также может использоваться цифровая модель (генератор параметров окружающей среды), в которую закладываются прогнозируемые значения параметров, а также их флуктуаций и долговременных изменений в ходе эксплуатации.

Параметры окружающей среды, генерируемые моделью, являются вероятностными (предположительными). Повышение достоверности моделирования при использовании таких входных данных может быть достигнуто за счет представления цифрового двойника средства измерений нечеткой логической моделью [2], приведенной на рис. 1.

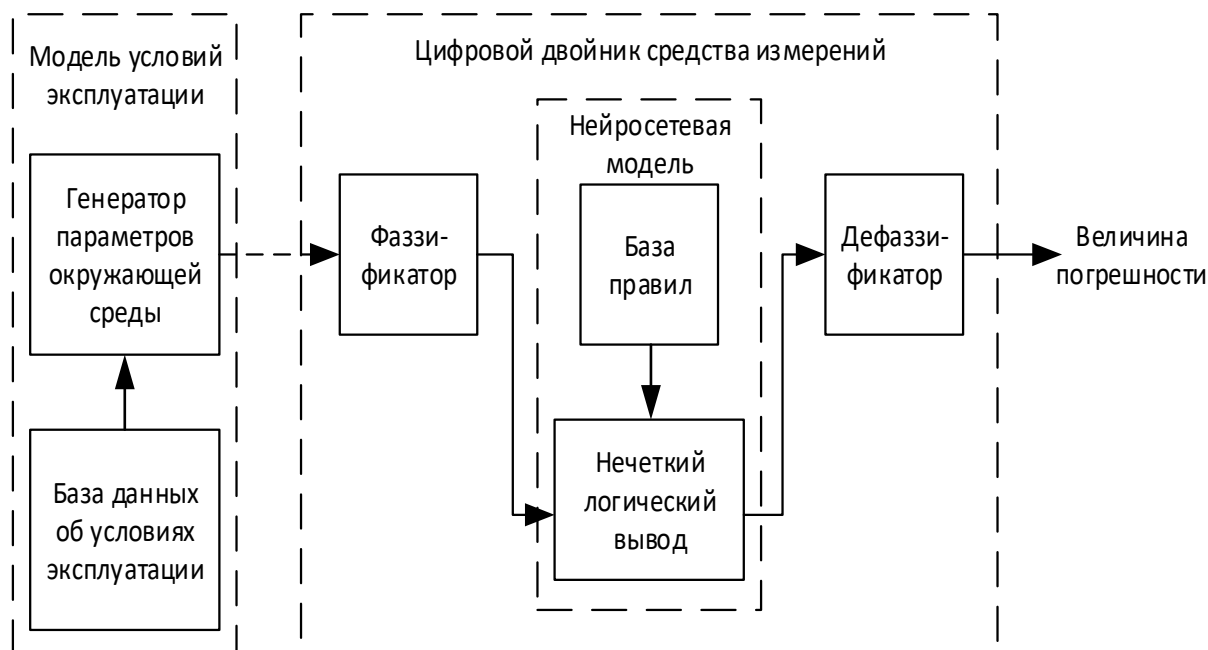


Рис. 1. Представление цифрового двойника средства измерений нечеткой моделью

В этом случае для каждого из сгенерированного моделью условий эксплуатации четкого параметра в результате математической процедуры, называемой фаззификацией, определяется функция принадлежности к одному или нескольким нечетким подмножествам. Величинами, непосредственно обрабатываемыми математической моделью цифрового двойника, являются вычисленные функции принадлежности, а не сами значения параметров. Очевидно, что в этом случае цифровой двойник должен строиться не на основе математического описания физических процессов в схеме прибора, а отражать качественные взаимосвязи выходных и входных величин на основе некоторой базы правил вида «если температура окружающей среды немного понижена, а напряжение питания много выше нормы, то показания будут умеренно завышены» и т. д. Наиболее целесообразно представлять такую модель в виде искусственной нейронной сети прямого распространения, обучаемой на примерах из реального опыта эксплуатации моделируемого средства измерений [3]. Четкое выходное значение в виде ожидаемой величины погрешности измерений формируется за счет применения процедуры дефаззификации к вычисленным функциям принадлежности нечеткого отклика нейросетевой модели.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения: ГОСТ Р 57700.37–2021.
2. **Усков, А. А.** Системы с нечеткими моделями объектов управления: монография / А. А. Усков. – Смоленск: СФРУК, 2013. – 153 с.: ил.
3. **Борисёнок, С. В.** Перспективы применения цифровых двойников в приборостроении / С. В. Борисёнок, А. К. Тявловский // Приборостроение : материалы 16 Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 17–19 нояб. 2023 г. – Минск, 2023. – С. 23–24.