

УДК 006.91.004

**ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ РОБАСТНОСТИ ОПТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ  
ИССЛЕДОВАНИЙ, ПРИМЕНЯЮЩИХ ЦИФРОВЫЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ**Аспирант Чжан Ю.<sup>1</sup>Канд. техн. наук, доцент Савкова Е. Н.<sup>2</sup><sup>1</sup> НИИ технологий применения природного графита «Жуйшэн», Уланкаб, Китай<sup>2</sup>Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Внедрение методов исследований объектов, основанных на обработке цифровых изображений в каждодневную практику лабораторий требует оценки их рабочих характеристик в процессе валидации. Согласно ГОСТ ISO/IEC 17025-2019 одной из техник, применяемых для валидации метода, является «метод испытания устойчивости путем изменения контролируемых параметров, таких как температура инкубатора, выдаваемого объема и т. д.». Обзор подходов к организации внутрилабораторных экспериментов по оценке робастности позволил сделать следующие выводы. Применительно к лабораторной практике стандарт СТБ ISO 5725-3-2002 рекомендует использовать многоуровневые планы с полной или ступенчатой группировкой факторов изменчивости «оператор», «оборудование», «калибровка оборудования», «время» и «условия» с расчетом математических ожиданий, стандартных отклонений, лабораторного смещения, размахов, критическая разностей и др. показателей в условиях повторяемости, промежуточной прецизионности и внутрилабораторной воспроизводимости. В то же время ГОСТ Р ИСО 16336-2020 рекомендует оценивать робастность с использованием ортогональных планов «робастность – чувствительность – отношение сигнал/шум», представляющих собой комбинации внешних и внутренних факторов. В документе [1] описаны планы «простая реплика» – серия измерений на одном материале (прецизионность, правильность), «линейная калибровка» – наблюдения на разных уровнях (обычно при разных концентрациях аналита), калибровка прибора, исследование линейности и рабочего диапазона, «иерархический (гнездовой)» – группы представляют различные аналитические серии (по возможности выполненные в разные дни), и «дробный факторный эксперимент» – (удалены некоторые тщательно выбранные комбинации уровней), например, план Плакетта-Бермана [2], используемый, когда полные знания о системе обычно недоступны, для выявления активных факторов как можно меньшим число экспериментальных прогонов.

ГОСТ 70462.1-2022 предлагает алгоритм оценки робастности нейронных сетей, включающий операции формулирования целей, планирования, тестирования, анализа и интерпретации результатов и проверки достижения цели. При этом применяются статистические, эмпирические и формальные методы. Наиболее часто применяемые статистические методы оперируют метриками эффективности для интерполяции – среднеквадратической ошибкой RMSE (стандартным отклонением остатков – ошибок прогнозирования), максимальной ошибкой *max error*, вычисляющей значение в исходных данных и соответствующее значение в прогнозе системы; фактической и прогнозируемой корреляциями *actual/predicted correlation* – линейной зависимостью между фактическими и прогнозируемыми значениями в наборе. В качестве показателей эффективности для классификации используются базовые метрики: истинно положительный TP, истинно отрицательный TN, ложно положительный FP, ложно отрицательный FN экземпляры, а также их доли и прогностические ценности и диагностическая вероятность. Расширенные метрики представлены кривой точности–полноты (вычисляют при разных пороговых значениях вывода, отражают компромиссы между точностью и полнотой), рабочей характеристикой приемника (график зависимости TP(FP) и др.

**Литература**

1. Eurachem Guide: The Fitness for Purpose of Analytical Methods – A Laboratory Guide to Method Validation and Related Topics: B. Magnusson and U. Örnemark (eds.): translation of the second edition, 2014 – Kyiv: LLC «Yurka Liubchenka», 2016. – 96 p.
2. Steiner, E. H. Statistical Manual of the AOAC, AOAC International / W. J. Youden, E. H. Steiner. – 1975.