ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РЕНТГЕНОВСКИХ ИЗМЕРИТЕЛЬНО-КОНТРОЛЬНЫХ СИСТЕМ С УЧАСТИЕМ ЧЕЛОВЕКА

Ибрахимов Улугбек Абиджанович
Начальник учебной лаборатории технических средств таможенного контроля Таможенного института

Аннотация

В статье исследованы теоретические и метрологические основы рентгеновских измерительно-контрольных систем с участием человека. Процесс анализа рентгеновских изображений рассмотрен как сложная информационно-измерительная система, основанная на взаимодействии человека и технических средств. Результаты исследования позволили определить влияние человеческого фактора на эффективность рентгеновского контроля, выявить источники когнитивной неопределенности и обосновать критерии оценки надежности оператора. Доказана целесообразность применения понятия **когнитивной надежности** при оценке надежности рентгеновских систем с участием человека.

Ключевые слова: рентгеновский контроль, человеческий фактор, когнитивная надежность, метрология, инспекционно-досмотровый комплекс, неинтрузивный контроль, ошибка оператора, таможенный контроль.

ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях постоянного роста объемов международной торговли и увеличения потока товаров, перемещаемых через государственную границу, значительно возрастают требования к эффективности таможенного контроля. В связи с этим технологии неинтрузивного контроля, прежде всего инспекционно-досмотровые комплексы и рентгенотелевизионные установки, стали неотъемлемой частью деятельности таможенных органов.

Несмотря на высокий уровень технического совершенства современных рентгеновских систем, окончательное решение о наличии опасных либо запрещенных предметов принимает оператор. Практика показывает, что одно и то же рентгеновское изображение может быть интерпретировано различными операторами по-разному. Данное обстоятельство свидетельствует о необходимости рассматривать человеческий фактор как один из ключевых элементов, определяющих эффективность рентгеновского контроля.

Большинство существующих исследований посвящено совершенствованию технических характеристик рентгеновского оборудования и оценке качества получаемых изображений. Вместе с тем метрологические особенности рентгеновских систем, функционирующих с участием человека, остаются недостаточно изученными.

В связи с этим целью настоящего исследования является разработка теоретических и метрологических основ рентгеновских измерительно-контрольных систем с участием человека, а также оценка влияния человеческого фактора на результаты рентгеновского контроля.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование выполнено на основе анализа научных публикаций в области инженерии человеческого фактора, когнитивной психологии, метрологии и анализа рентгеновских изображений.

В работе использованы следующие методы исследования:

- системный анализ;
- сравнительный анализ;
- функциональное моделирование;
- когнитивное моделирование;
- анализ научной литературы;
- обобщение результатов исследований автора, выполненных в 2025–2026 годах.

Объектом исследования являлись процессы анализа рентгеновских изображений операторами при эксплуатации рентгенотелевизионных установок и инспекционно-досмотровых комплексов, применяемых в таможенных органах.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Функциональная модель рентгеновского контроля

Результаты исследования показали, что рентгеновский контроль целесообразно рассматривать как информационно-измерительную систему, функционирующую в следующей последовательности:

Объект → Источник рентгеновского излучения → Детектор → Цифровое изображение → Анализ оператором → Принятие решения.

Несмотря на то что техническая часть данной цепочки в значительной степени стандартизирована, когнитивная деятельность оператора носит вариативный характер и зависит от множества внутренних и внешних факторов.

Проведенный анализ показал, что значительная часть ошибок при осуществлении рентгеновского контроля обусловлена человеческим фактором. В частности, снижение концентрации внимания, утомление, работа в условиях дефицита времени, а также редкая встречаемость опасных объектов существенно снижают точность принимаемых оператором решений.

Понятие когнитивной неопределенности

В классической метрологии источниками неопределенности измерений преимущественно являются технические средства измерения. Однако при рентгеновском контроле возникает дополнительный вид неопределенности — **когнитивная неопределенность**, обусловленная особенностями деятельности человека-оператора.

Когнитивная неопределенность определяется следующими факторами:

- уровнем профессиональной подготовки оператора;
- практическим опытом работы;
- психофизиологическим состоянием;
- устойчивостью внимания;
- особенностями визуального восприятия.

В этой связи общая надежность рентгеновской системы с участием человека формируется не как простая сумма технической и когнитивной надежности, а как результат их взаимного влияния и взаимодействия.

Значение подготовки операторов

Проведённые автором исследования с использованием симулятора **Simfox** показали, что применение современных симуляционных технологий играет важную роль в формировании профессиональных навыков анализа рентгеновских изображений у операторов.

Использование симуляторов позволяет:

- повысить скорость распознавания опасных объектов;
- улучшить качество визуального восприятия рентгеновских изображений;
- сократить время принятия решения;
- уменьшить количество ошибок оператора.

Это позволяет рассматривать подготовку операторов как важнейшую составную часть метрологического обеспечения рентгеновского контроля, поскольку уровень профессиональной подготовки непосредственно влияет на достоверность результатов контроля.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Полученные результаты свидетельствуют о том, что рентгеновский контроль с участием человека следует рассматривать не как традиционную техническую измерительную систему, а как **когнитивно-метрологическую систему**, основанную на взаимодействии человека и технических средств.

Результаты исследований автора, посвящённых повышению эффективности анализа рентгеновских изображений, обеспечению когнитивной надёжности операторов и применению технологий искусственного интеллекта, подтверждают, что достижение высокой эффективности рентгеновского контроля невозможно без учёта человеческого фактора.

Аналогичный подход прослеживается и в международной практике, где взаимодействие человека и автоматизированных систем рассматривается как наиболее эффективная модель организации процесса контроля. В связи с этим представляется целесообразным в перспективе использовать **когнитивную надёжность оператора** в качестве самостоятельного метрологического показателя при оценке эффективности рентгеновских систем.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам проведённого исследования сформулированы следующие выводы:

1. Рентгеновский контроль представляет собой сложную информационно-измерительную систему, функционирующую при непосредственном участии человека.
2. Эффективность рентгеновского контроля определяется не только техническими характеристиками оборудования, но и когнитивными возможностями оператора.
3. Человеческий фактор является самостоятельным источником метрологической неопределённости в системах рентгеновского контроля.
4. Подготовка операторов с использованием специализированных симуляторов способствует повышению качества анализа рентгеновских изображений и увеличению надёжности принимаемых решений.
5. Внедрение понятия **когнитивной надёжности** в практику оценки рентгеновских систем представляется научно обоснованным и перспективным направлением развития современной метрологии рентгеновского контроля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. World Customs Organization. Guidelines for Non-Intrusive Inspection Equipment. Brussels, 2023.
2. Schwaninger A., Sterchi Y. Visual Inspection Performance in Aviation Security Screening // *Aviation Psychology and Applied Human Factors*. 2015. Vol. 5(1). P. 45–56.
3. Parasuraman R., Sheridan T.B., Wickens C.D. A Model for Types and Levels of Human Interaction with Automation // *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*. 2000. Vol. 30(3). P. 286–297.
4. Wolfe J.M., Horowitz T.S., Kenner N.M. Rare Items Often Missed in Visual Searches // *Nature*. 2005. Vol. 435. P. 439–440.
5. Endsley M.R. Toward a Theory of Situation Awareness in Dynamic Systems // *Human Factors*. 1995. Vol. 37(1). P. 32–64.

6. Ibrakhimov U.A. Human Cognitive Reliability in X-Ray Baggage Screening // *Development of Science*. 2026. Vol. 3. No. 6. P. 288–296.
7. Ibrohimov U. Improving the Efficiency of X-Ray Image Analysis by Customs Institute Cadets Using the Simfox Simulator // *International Conference on Advance Science and Technology*. 2025. Vol. 2. No. 5. P. 49–51.
8. Ibrakhimov U.A. Methods for Increasing the Efficiency of Human Interpretation of X-Ray Images in Customs Inspection of Hand Luggage and Baggage.
9. Ibrakhimov U.A. Optimization Issues in the Application of Non-Intrusive Technical Means in Customs Control. 2026.
10. Ibrakhimov U.A. Application of Artificial Intelligence in X-Ray Baggage Inspection for Customs Control: Review of Modern Opportunities and Challenges // *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*. 2025. Vol. 5. No. 10. P. 26–29.