

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИИ-АССИСТЕНТОВ В СИСТЕМАХ ЖИДКОСТНОЙ ЦИТОЛОГИИ ДЛЯ СОКРАЩЕНИЯ ВРЕМЕНИ ЧТЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ

Печёнов М.С.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель: Бондарик В.М. – к.т.н., доцент, доцент кафедры ЭТТ

Аннотация. Рассмотрены подходы к применению ИИ-ассистентов в жидкостной цитологии (LBC) для повышения производительности лабораторного скрининга. Выполнен сравнительный анализ полуавтоматических имиджинг-систем и цифровой цитологии на основе полноформатного сканирования препарата (WSI) и методов машинного обучения. Показано, что ИИ-подсказки позволяют сократить время чтения препарата без ухудшения ключевых показателей качества при соблюдении ограничений по нагрузке и протоколов валидации.

Ключевые слова: жидкостная цитология, скрининг, искусственный интеллект, цифровая цитология, время чтения, производительность.

Введение. Жидкостная цитология (Liquid-Based Cytology, LBC) широко применяется в скрининге заболеваний шейки матки благодаря высокой эффективности метода. Рост объёма исследований и дефицит подготовленных специалистов приводят к увеличению нагрузки и времени выдачи результатов. Поэтому актуальна интеграция ИИ-ассистентов, поддерживающих специалиста на этапах предварительного скрининга, приоритизации и навигации по объектам интереса, сокращая время чтения при сохранении диагностического качества [1-4].

Цель работы – обобщить данные о влиянии ИИ-ассистентов в LBC на время чтения результатов и предложить практический подход к их внедрению в лабораторный процесс с учетом требований к качеству и ограничений по нагрузке [5-8].

Материалы и методы. Проведён анализ 13 источников (научных публикаций и официальных документов), посвящённых полуавтоматическим имиджинг-системам для LBC (ThinPrep Imaging System, BD FocalPoint GS) [1, 2, 5, 6] и системам цифровой цитологии на базе полноформатного сканирования препарата (WSI) с ИИ-подсказками (в т. ч. Hologic Genius Digital Diagnostics System) [3, 4, 7, 9-11]. В качестве первичного показателя эффективности рассматривалось среднее время чтения/скрининга одного препарата (с/препарат), а также вторичные метрики: согласованность заключений, чувствительность/специфичность для клинически значимых категорий и влияние нагрузки на показатели качества [5-8].

Основная часть. Полуавтоматические имиджинг-системы (первое поколение ассистентов) выполняют предварительный анализ препарата и предлагают ограниченное число полей зрения для просмотра. В хронометражном исследовании для ThinPrep Imaging System показано сокращение времени скрининга в среднем на 42 % относительно ручного чтения [1]. В трехстороннем сравнительном исследовании подтверждена сопоставимость диагностических результатов между режимами работы при корректной организации процесса [2]. Однако ускорение не должно достигаться за счет превышения безопасной нагрузки: при повышении ежедневного числа препаратов ухудшаются показатели эффективности скрининга даже при использовании автоматизированных систем [5].

Современные ИИ-ассистенты (второе поколение) опираются на цифровое полноформатное сканирование клеточного пятна (WSI) и формируют для читателя «галерею» объектов интереса, снижая объём навигации по препарату и число повторных просмотров. В исследовании организации рабочего процесса показано сокращение времени чтения при переходе с ThinPrep Imaging System на Genius Digital Diagnostics System (с 138,0 с до 70,1 с на препарат) при сохранении сопоставимой точности [4]. Клинические оценки и валидационные

работы подтверждают применимость подхода «цифровая цитология + ИИ» в лабораторных условиях [9-11].

Наиболее выраженный эффект по времени показан в исследованиях ИИ-подсказок на основе методов глубокого обучения при оценке LBC по полносканированным изображениям (WSI): в многочитательском дизайне среднее время чтения снизилось с 218 с до 30 с на препарат. При этом показатели качества интерпретации сохранялись, а у менее опытных специалистов отмечался рост диагностической уверенности [3]. Ключевой механизм экономии времени – уменьшение «поискового» этапа, когда специалист тратит значительную долю времени на навигацию и поиск редких диагностически значимых клеток.

Для практического внедрения ИИ-ассистента целесообразно оценивать эффект в двух плоскостях: (1) экономия времени чтения препарата и (2) соблюдение ограничений по нагрузке, установленных для цитологического скрининга. Официальные документы и регуляторные материалы указывают необходимость расчета нагрузки с учетом полуавтоматизированных режимов и соблюдения нормативов по максимальному числу препаратов за смену [6-8]. В противном случае повышение пропускной способности может сопровождаться ростом диагностических ошибок [5].

Сводные данные по влиянию различных классов ассистентов на время чтения приведены в таблице 1. Представленная таблица может использоваться как аргумент для обоснования внедрения в лаборатории и для выбора сценария пилотного тестирования.

Таблица 1 – Примеры влияния ИИ-ассистентов на время чтения/скрининга препаратов LBC

Класс решения	Система/сравнение	Показатель времени	Результат	Источник
Имиджинг (полуавтомат.)	ThinPrep Imaging System (сравнение с ручным чтением)	Время скрининга	–42 %	[1]
Цифровая цитология + ИИ	Genius Digital Diagnostics System vs ThinPrep Imaging System	Время чтения, с/препарат	138,0 → 70,1	[4]
Глубокое обучение (WSI)	ИИ-подсказки (многочитательское исследование)	Время чтения, с/препарат	218 → 30	[3]

Практический подход к внедрению. Для лаборатории, планирующей внедрение ИИ-ассистента в LBC, рекомендуется следующий минимальный план:

- определить целевой участок процесса (предскрининг, триаж, пересмотр патологом);
- провести локальную валидацию (согласованность заключений, частота дообследований, доля недооценок) по репрезентативной выборке до и после внедрения [10, 11];
- фиксировать метрики времени (с/препарат) и анализировать распределения, а не только средние значения;
- рассчитать допустимую нагрузку с учетом режима работы и регуляторных рекомендаций [6-8];
- внедрить внутренний контроль качества (выборочная повторная проверка, анализ расхождений, мониторинг лабораторных индикаторов).

Ограничения. Данные по времени и качеству зависят от уровня подготовки читателей, протокола разметки объектов интереса и качества сканирования. Перенос моделей между лабораториями может требовать дополнительной настройки из-за различий в подготовке препаратов и оптике сканирования [12, 13].

Заключение. ИИ-ассистенты в системах жидкостной цитологии позволяют существенно сократить время чтения результатов: для имиджинг-систем показано снижение времени скрининга на 42% [1], а для решений на базе цифровой цитологии и методов глубокого обучения – сокращение времени чтения в 2 раза и более (до ~7 раз в отдельных исследованиях) [3, 4]. Практический эффект достигается при обязательной лабораторной валидации, контроле метрик качества и соблюдении ограничений по нагрузке [5-8]. Перспективы дальнейшего

развития ИИ-ассистентов в LBC связаны с переходом к более глубокой интеграции в лабораторный рабочий процесс: от подсказок при просмотре к поддержке триажа, автоматизированному контролю качества препарата и стандартизации критериев интерпретации. Одним из ключевых направлений является накопление репрезентативных локальных наборов данных и проведение многоцентровых проверок, что позволит повысить переносимость алгоритмов между лабораториями и снизить риск снижения качества при росте производительности. Дальнейшее развитие также видится в создании прозрачных правил принятия решений (интерпретируемых подсказок), настройке порогов чувствительности под задачи конкретной лаборатории и в формализации протоколов внедрения и мониторинга качества после запуска системы.

Список литературы

1. Automated screening versus manual screening: a comparison of the ThinPrep imaging system and manual screening in a time study / D. Schledermann, T. Hyldebrandt, D. Ejersbo, B. Hoelund // *Diagn Cytopathol.* 2007. Vol. 35, No 6. P. 348-352. DOI: 10.1002/dc.20640.
2. A three-armed trial of the ThinPrep Imaging System / J. M. Roberts, J. K. Thurlow, R. C. Bowditch [et al.] // *Diagn Cytopathol.* 2007. Vol. 35, No 2. P. 96-102. DOI: 10.1002/dc.20600.
3. Deep learning enabled liquid-based cytology model for cervical precancer and cancer detection / P. Xue [et al.] // *Nat Commun.* 2025. Vol. 16, No 1. Art. 3506. DOI: 10.1038/s41467-025-58883-3.
4. Impact of the Genius Digital Diagnostics System on workflow and accuracy compared with the ThinPrep Imaging System for review of ThinPrep Papanicolaou tests / K. M. Murphy [et al.] // *Am J Clin Pathol.* 2025. Vol. 164, No 5. P. 746-751. DOI: 10.1093/ajcp/aqaf099.
5. Increasing cytotechnologist workload above 100 slides per day using the BD FocalPoint GS imaging system negatively affects screening performance / A. W. Levi [et al.] // *Am J Clin Pathol.* 2012. Vol. 138, No 6. P. 811-815. DOI: 10.1309/AJCPTYDD9G2NCUMF.
6. SUMMARY OF SAFETY AND EFFECTIVENESS DATA (SSED): BD FocalPoint GS Imaging System (P950009/S008) [Электронный ресурс]. FDA, 2008. Дата доступа: 01.03.2026.
7. Genius Digital Diagnostics System with Genius Cervical AI. Instructions for Use. MAN-11010-001 Rev. 002 (05-2024) [Электронный ресурс]. Hologic, 2024. Дата доступа: 01.03.2026.
8. How Laboratorians Can Safely Calculate Workload for FDA-Approved Semi-Automated Gynecologic Cytology Screening Devices [Электронный ресурс]. FDA/CMS, 2010. Дата доступа: 01.03.2026.
9. Comparison of the Hologic Genius Digital Diagnostics System with the ThinPrep Imaging System - A retrospective assessment / H. Ikenberg [et al.] // *Cancer Cytopathol.* 2023. Vol. 131, No 7. P. 424-432. DOI: 10.1002/cncy.22695.
10. Validation of AI-assisted ThinPrep Pap test screening using the Genius Digital Diagnostics System / R. L. Cantley [et al.] // *J Pathol Inform.* 2024. Vol. 15. Art. 100391. DOI: 10.1016/j.jpi.2024.100391.
11. Assessment of the efficacy and accuracy of cervical cytology screening with the Hologic Genius Digital Diagnostics System / E. Elishaev [et al.] // *Cancer Cytopathol.* 2025. Art. e70022. DOI: 10.1002/cncy.70022.
12. A Deep Learning Model for Cervical Cancer Screening on Liquid-Based Cytology Specimens in Whole Slide Images / F. Kanavati [et al.] // *Cancers (Basel).* 2022. Vol. 14, No 5. Art. 1159. DOI: 10.3390/cancers14051159.
13. A systematic review of deep learning-based cervical cytology screening: from cell identification to whole slide image analysis / P. Jiang [et al.] // *Artif Intell Rev.* 2023. Vol. 56 (Suppl 2). P. 2687-2758. DOI: 10.1007/s10462-023-10588-z.

UDC 616.618-7

AI ASSISTANTS IN LIQUID-BASED CYTOLOGY SYSTEMS FOR REDUCING RESULT READING TIME

Piachonau M.S.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Bondarik V.M. – Cand. of Sci., associate professor, associate professor of the department of ETaT

Annotation. This paper reviews AI-assisted approaches in liquid-based cytology (LBC) aimed at improving screening productivity. Two solution classes are compared: semi-automated imaging systems and digital cytology based on whole-slide imaging with machine learning assistance. Published evidence demonstrates a substantial reduction in slide review time while maintaining quality metrics, provided that workload limits and laboratory validation protocols are followed.

Keywords: liquid-based cytology, screening, artificial intelligence, digital cytology, reading time, productivity.