

million tenge and OPEX of 6 million tenge per year, the estimated payback period is approximately 1.67 years, and about 2.5 years in the conservative scenario. The obtained results confirm the feasibility of a phased implementation of the digital quality loop: from data and CAPA standardization to analytics and predictive models.

Key words: quality management; Quality 4.0; KPI; CAPA; artificial intelligence; digital loop; nuclear industry; LTIFR; economic efficiency.

Сведения об авторах

Алёна Игоревна Почекина* – магистрант программы «Управление в атомной отрасли» (направление 38.04.02 «Менеджмент») кафедры № 72 «Управления бизнес-проектами», Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Российская Федерация; e-mail: alenka_2011.kz@mail.ru.

Евгений Семёнович Юшков – к.т.н., доцент кафедры № 72 «Управления бизнес-проектами», Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Российская Федерация; e-mail: esyushkov@mephi.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-9161-0877>.

Авторлар туралы мәліметтер

Алёна Игоревна Почекина* – «Атом саласындағы басқару» бағдарламасының магистранты, 38.04.02 «Менеджмент» бағыты, № 72 «Бизнес-жобаларды басқару» кафедрасы, Ұлттық зерттеу ядролық университеті «МИФИ», Ресей Федерациясы; e-mail: alenka_2011.kz@mail.ru.

Евгений Семёнович Юшков – техника ғылымдарының кандидаты, № 72 «Бизнес-жобаларды басқару» кафедрасының доценті, Ұлттық зерттеу ядролық университеті «МИФИ», Ресей Федерациясы; e-mail: esyushkov@mephi.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-9161-0877>.

Information about the authors

Alyona Igorevna Pochekina* – Master's student of the program «Management in the Nuclear Industry» in the field of study 38.04.02 «Management», Department № 72 «Business Project Management», National Research Nuclear University MEPhI, Russian Federation; e-mail: alenka_2011.kz@mail.ru.

Evgeny Semyonovich Yushkov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Department № 72 «Business Project Management», National Research Nuclear University MEPhI, Russian Federation; e-mail: esyushkov@mephi.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-9161-0877>.

Поступила в редакцию 30.03.2026

Поступила после доработки 25.05.2026

Принята к публикации 28.05.2026

[https://doi.org/10.53360/2788-7995-2026-2\(22\)-61](https://doi.org/10.53360/2788-7995-2026-2(22)-61)



МРНТИ: 76.29.33

И.М. Увалиева, Ж.Т. Рахметуллина, Ш.Т. Тезекпаева*, Д.Р. Борозенец, Ж.Ж. Нурумов

Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева,

Республика Казахстан, г. Усть-Каменогорск, ул. Серикбаева, 19

*e-mail: shtezekpaeva@ektu.kz

МОДЕЛЬ ПОДДЕРЖКИ КЛИНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ НАРУШЕНИЙ КИСЛОТНО-ОСНОВНОГО РАВНОВЕСИЯ ПО ДАННЫМ ГАЗОМЕТРИИ КРОВИ НА ОСНОВЕ УРАВНЕНИЯ ГЕНДЕРСОНА-ХАССЕЛЬБАХА

Аннотация: В статье рассматривается система поддержки клинических решений для диагностики нарушений кислотно-основного равновесия на основе анализа газового состава крови с использованием уравнения Гендерсона-Хассельбаха. В условиях возрастающих требований к точности и скорости клинической диагностики особую актуальность приобретает алгоритмизированная интерпретация показателей газометрии. Работа направлена на систематизацию ключевых параметров ABG (pH, P_aCO_2 , HCO_3^- , BE и др.), анализ их физиологических взаимосвязей и разработку логико-математической модели для автоматизированной классификации кислотно-щелочных нарушений. Представлен алгоритмический подход к оценке

©И.М. Увалиева, Ж.Т. Рахметуллина, Ш.Т. Тезекпаева, Д.Р. Борозенец, Ж.Ж. Нурумов, 2026

метаболических и респираторных расстройств, включая смешанные формы, с учётом механизмов компенсации. Показано, что применение компьютерной модели повышает объективность интерпретации, снижает вероятность диагностических ошибок и способствует принятию обоснованных клинических решений в терапевтической практике.

Разработанная модель предусматривает модульную архитектуру, включающую блок ввода данных, аналитический модуль, реализующий расчёты по уравнению Гендерсона-Хассельбаха, и блок интерпретации результатов с выдачей диагностических заключений. Также рассматривается возможность расширения модели за счёт внедрения методов машинного обучения и применения правил логического вывода для повышения точности классификации и адаптации к различным клиническим сценариям.

Ключевые слова: кислотно-основное равновесие, газовый состав артериальной крови, артериальная газометрия (ABG), уравнение Гендерсона–Хассельбаха, система поддержки клинических решений, алгоритмизированная интерпретация, респираторные и метаболические нарушения, математическое и логическое моделирование.

Введение

Нарушения газообмена и кислотно-основного равновесия (КОР) остаются одной из наиболее частых причин клинической нестабильности у пациентов как в отделениях интенсивной терапии, так и при хронических заболеваниях дыхательной и метаболической природы [1-3]. Анализ газового состава крови (arterial blood gas analysis, ABG) обеспечивает количественную оценку параметров вентиляции (P_aCO_2), оксигенации (P_aO_2 , S_aO_2), кислотности (pH) и метаболического компонента буферных систем (HCO_3^- , base excess), что делает его критически важным инструментом диагностики и мониторинга при острой и хронической дыхательной недостаточности, сепсисе, шоке, диабетическом кетоацидозе и других потенциально жизнеугрожающих состояниях [4]. Однако интерпретация ABG требует строгого алгоритмического подхода: последовательной оценки первичного сдвига pH, ведущего компонента (респираторного или метаболического), степени компенсации, а также выявления смешанных нарушений [5].

Несмотря на высокую информативность ABG, практическая интерпретация результатов остаётся уязвимой к когнитивным ошибкам и вариативности клинического опыта, особенно при сочетанных нарушениях, неполных данных или необходимости быстрого решения. В этой связи особую значимость приобретают системы поддержки принятия решений (clinical decision support systems), обеспечивающие стандартизированную и воспроизводимую интерпретацию лабораторных показателей. Одним из ранних и концептуально важных примеров такого подхода является компьютерная программа оценки кислотно-основных нарушений, предложенная H.L. Bleich (1969) [6], которая в интерактивном режиме запрашивает клиничко-лабораторные параметры, проверяет их внутреннюю согласованность, вычисляет недостающие величины и формирует структурированное клиническое заключение с указанием ограничений и рекомендаций.

С учётом современных требований к точности и скорости клинической диагностики актуальным является рассмотрение ABG как основы алгоритмизированной оценки КОР и обоснование применимости компьютерных логических моделей для повышения качества интерпретации. Настоящая работа направлена на систематизацию ключевых параметров газового состава крови и принципов их физиологического поведения, а также на обсуждение результатов применения алгоритмического подхода к анализу кислотно-щелочных нарушений на примере компьютерной системы поддержки решений.

Цель исследования - обосновать диагностическую значимость анализа газового состава крови и продемонстрировать возможности алгоритмизированной и математической интерпретации нарушений кислотно-основного равновесия на основе клиничко-лабораторных данных.

Задачи исследования

- проанализировать физиологические основы формирования показателей газового состава крови;
- разработать алгоритмизированную модель диагностики нарушений КОР;
- оценить диагностическую эффективность компьютерной системы поддержки решений.

Научная новизна исследования заключается в разработке алгоритма автоматизированного анализа кислотно-щелочного состояния, объединяющего интерпретацию газового состава крови, расчёт анионного промежутка и механизм проверки

внутренней согласованности лабораторных параметров.

В отличие от существующих решений, предложенная система не только выполняет классификацию нарушений кислотно-щелочного равновесия, но и осуществляет предварительную валидацию входных данных на основе физиологических закономерностей и уравнения Гендерсона-Хассельбаха, что позволяет выявлять потенциально ошибочные или несовместимые показатели до формирования клинического заключения.

Методы исследования

1) Уравнение Гендерсона-Хассельбаха

Кислотно-щелочной баланс поддерживается с помощью химических буферных систем, легочной активности и почечной активности [7].

Химические буферные системы – это растворы, демпфирующие изменения pH . Внутри- и внеклеточные буферные системы немедленно реагируют на нарушения кислотно-основного баланса. Важную буферную функцию выполняют и кости, особенно при перегрузке кислотами [8].

Буферная система состоит из слабой кислоты и связанного с ней основания. Основание присоединяет H^+ , а слабая кислота его отсоединяет, тем самым сводя к минимуму изменения концентрации свободного H^+ . Буферная система позволяет минимизировать изменения pH вблизи константы равновесия (pKa); таким образом, хотя в организме потенциально существуют много буферных пар, физиологически значимы только некоторые из них.

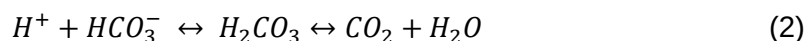
В рамках исследования математическая интерпретация кислотно-основного состояния осуществлялась с использованием комплекса физиологически обоснованных уравнений, описывающих взаимосвязь между вентиляционными, метаболическими и электролитными параметрами крови. Формулы интегрировались в алгоритм поддержки клинических решений и применялись для количественной оценки кислотно-щелочного баланса, выявления скрытых метаболических нарушений и оценки адекватности компенсаторных реакций организма.

Отношения между pH буферной системы и концентрацией ее компонентов описывается уравнением Гендерсона-Хассельбаха (1) [9]:

$$pH = pKa + \lg \frac{[anion]}{[weak acid]} \quad (1)$$

где pKa в (1) представляет собой константу диссоциации слабой кислоты.

Наиболее важная внеклеточная буферная система HCO_3^-/CO_2 описывается уравнением (2):



Увеличение концентрации H^+ сдвигает уравнение (2) вправо, т.е. образуется CO_2 .

Эта важная буферная система регулируется на высоком уровне. Концентрацию CO_2 можно точно контролировать с помощью альвеолярной вентиляции, а концентрации H^+ и HCO_3^- можно точно отрегулировать с помощью почечной экскреции.

Соотношение между pH , HCO_3^- , и CO_2 в системе, описываемой уравнением Гендерсона-Хассельбаха, следующее (3):

$$pH = 6,1 + \lg \frac{HCO_3^-}{0,03 \cdot PCO_2} \quad (3)$$

где HCO_3^- измеряется в мЭкв/л, а PCO_2 — это парциальное давление CO_2 , измеряемое в мм рт.ст.

Или аналогично, с помощью уравнения Кассирера-Блайха (4), полученного из уравнения Гендерсона-Хассельбаха [10]:

$$H^+ = 24 \cdot \frac{PCO_2}{HCO_3^-} \quad (4)$$

Для преобразования артериального pH в $[H^+]$ (4) используют (5):

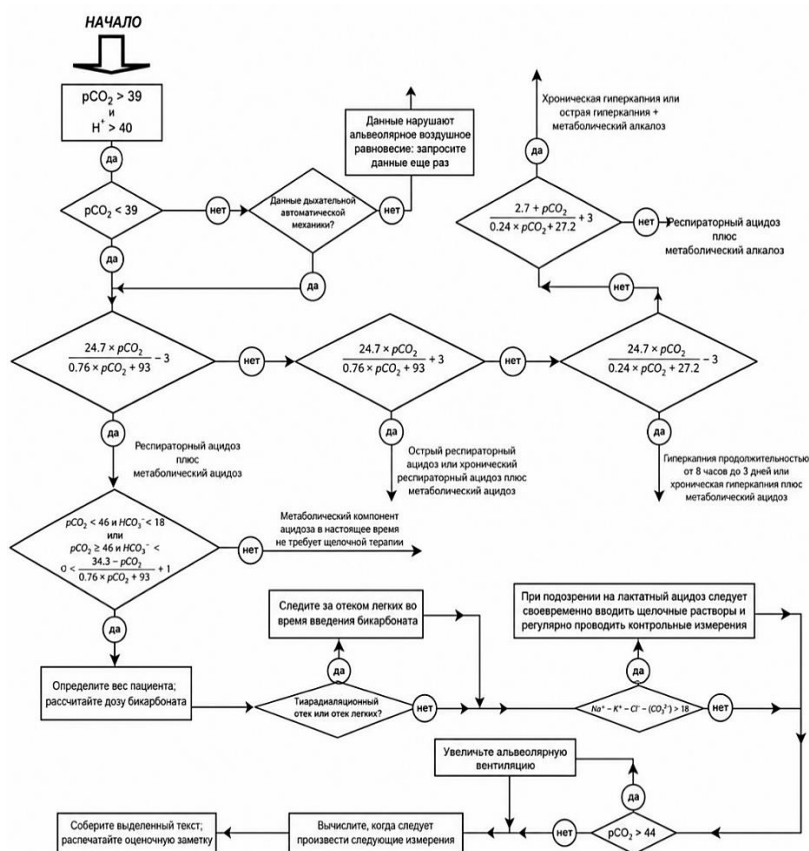
$$pH = -\lg[H^+] \quad (5)$$

Или (6):

$$[H^+] = 10^{-pH} \quad (6)$$

Уравнение Гендерсона-Хассельбаха использовалось для проверки внутренней согласованности лабораторных показателей и вычисления недостающих параметров при неполных данных. Применение модели позволило формализовать взаимодействие респираторного и метаболического компонентов регуляции кислотно-основного равновесия.

Алгоритм первичной интерпретаций кислотно-основного равновесия (*KOP*) реализован в виде логической последовательности решений, основанной на анализе показателей артериальных газов крови и электролитов сыворотки [11]. Метод направлен на стандартизированную оценку респираторных и метаболических нарушений, автоматическую проверку согласованности данных и формирование диагностических заключений [12-14]. Графическое описание этапа сбора и валидации исходных параметров представлен на рисунке 1.



На первом этапе алгоритм предусматривает ввод ключевых лабораторных показателей: концентраций натрия (Na^+), калия (K^+), хлорида (Cl^-) и общего содержания углекислого газа (CO_2T), а также значений pH и парциального давления углекислого газа (PCO_2). Полученные данные подвергаются первичной проверке на физиологическую допустимость и внутреннюю согласованность.

$$Na^+ + K^+ - Cl^- - CO_2, \quad (7)$$

576

процедуру восстановления недостающих величин на основе уравнения Гендерсона-Хассельбаха, что позволяет сохранить непрерывность анализа.

Дальнейшая логика предусматривает оценку соответствия концентрации бикарбоната условному референтному диапазону ($\approx 25 \pm 3$ ммоль/л) и определение необходимости перехода к более углублённому анализу. При отсутствии отклонений формируется заключение о нормальных показателях внеклеточного кислотно-щелочного баланса. При повышении расчётной анионной разницы (>18 ммоль/л) алгоритм инициирует блок расширенной интерпретации, представленный на рисунке 2.

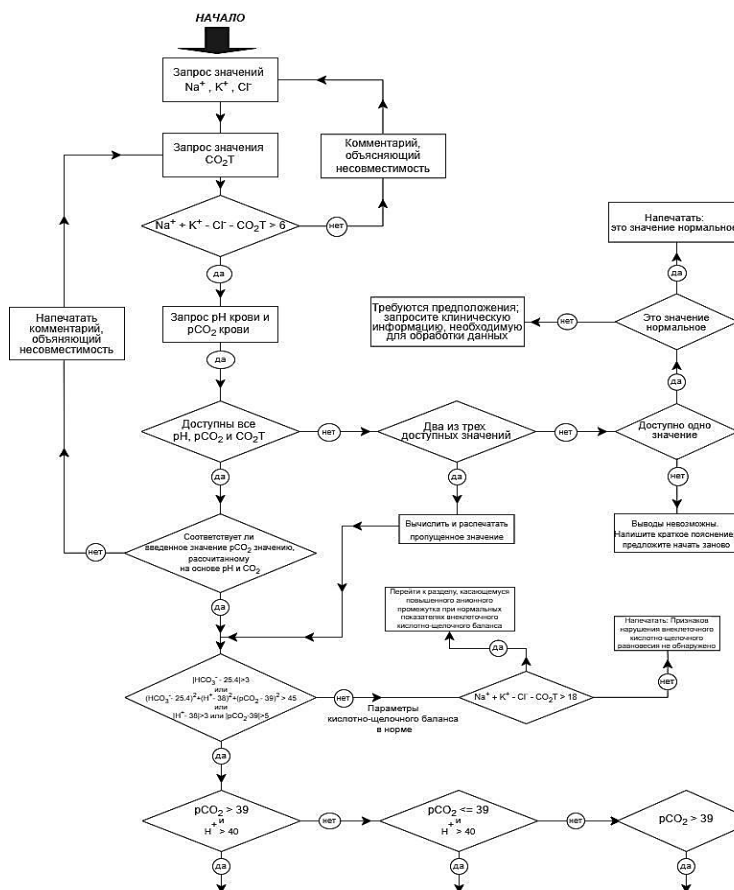


Рисунок 2 – Этап дифференциальной оценки кислотно-щелочных нарушений

Вторая часть алгоритма, представленная на рисунке 2, направлена на классификацию выявленных отклонений и оценку характера компенсации. Исходной точкой служит анализ соотношения PCO_2 и активности ионов водорода, позволяющий определить ведущий компонент нарушения – респираторный или метаболический.

Система сопоставляет показатели пациента с расчетными кривыми титрования углекислого газа, что позволяет разграничивать острые и хронические формы гиперкапнии, а также выявлять наложение метаболического ацидоза или алкалоза [15-18]. При обнаружении повышенного уровня PCO_2 и соответствующих изменений концентрации бикарбоната алгоритм дифференцирует респираторный ацидоз, хроническую гиперкапнию или смешанные состояния. Дополнительные логические ветви предусматривают оценку адекватности метаболической компенсации и необходимость коррекции бикарбонатом.

Алгоритм также содержит клинические рекомендации, формируемые автоматически в зависимости от полученных результатов анализа. К ним относятся увеличение альвеолярной вентиляции, мониторинг риска отёка лёгких при введении щелочных растворов, расчёт дозы бикарбоната на основе массы тела пациента и планирование повторных лабораторных измерений.

Представленный алгоритм отражает формализацию клинического мышления при интерпретации артериальных газов крови и основан на последовательной оценке электролитного баланса, параметров вентиляции и метаболических показателей.

Использование логической сети решений обеспечивает воспроизводимость анализа, уменьшает влияние субъективных факторов и позволяет стандартизировать первичную диагностику кислотно-щелочных нарушений.

Результаты исследования

1) Программная реализация системы

Разработанная система поддержки клинических решений реализована в виде локального программного приложения. Программа разработана с использованием языка программирования Python и библиотеки Tkinter для создания графического пользовательского интерфейса.

Архитектура системы включает три основных модуля:

- модуль ввода лабораторных данных;
- аналитический модуль;
- модуль интерпретации результатов.

Модуль ввода обеспечивает получение значений электролитов крови (Na^+ , K^+ , Cl^- , HCO_3^-), а также параметров газового состава крови (pH, pCO_2). Аналитический модуль реализует вычисления на основе уравнения Гендерсона–Хассельбаха, расчёт анионного промежутка и проверку согласованности введённых данных. Модуль интерпретации формирует диагностическое заключение о типе нарушения кислотно-щелочного состояния.

Пользовательский интерфейс программы содержит поля ввода параметров, кнопки запуска анализа и окна отображения результатов. Для повышения надёжности системы реализован механизм автоматической проверки корректности и физиологической совместимости вводимых данных.

2) Результаты экспериментального исследования системы

В ходе исследования была реализована компьютерная система поддержки клинических решений, предназначенная для анализа нарушений кислотно-щелочного равновесия на основе клинических и лабораторных данных. Разработка подобных систем соответствует современным тенденциям цифровизации здравоохранения и направлена на повышение эффективности диагностики, снижение вероятности врачебных ошибок и оптимизацию клинического процесса. В литературе отмечается значительная роль интерфейсов взаимодействия человека и интеллектуальных систем в обеспечении качества медицинской помощи [19].

Полученные результаты показали, что разработанный алгоритм (рис. 1, 2) способен автоматически запрашивать необходимые параметры, проверять корректность введённых значений и формировать клиническое заключение с учётом выявленных физиологических закономерностей. Программный модуль реализует поэтапный ввод данных, включающий значения электролитов (Na^+ , K^+ , Cl^- , HCO_3^-) и газов крови (pH, pCO_2), после чего выполняет автоматическую интерпретацию результатов.

Результаты тестирования показали, что при вводе значений электролитов ($\text{Na}^+ = 130$ ммоль/л, $\text{K}^+ = 3$ ммоль/л, $\text{Cl}^- = 98$ ммоль/л, $\text{HCO}_3^- = 23$ ммоль/л) система автоматически выполняет проверку их взаимосвязи и, в случае выявления отклонений от ожидаемых соотношений, формирует предупреждение о несовместимости данных (рис. 3).

Анализ кислотно-щелочного состояния

1 Electrolyte values

Sodium (Na^+ , mmol/L) 130

Potassium (K^+ , mmol/L) 3

Chloride (Cl^- , mmol/L) 98

Bicarbonate / CO_2 (mmol/L) 23

CONTINUE

Рисунок 3 – Окно ввода исходных значений

В частности, пользователю выводится сообщение о необходимости верификации измерений, а дальнейший анализ блокируется.

Система корректно выявляет внутренне несогласованные комбинации электролитных показателей и автоматически блокирует дальнейший анализ при обнаружении таких данных. В частности, при вводе значений, не соответствующих физиологически допустимым соотношениям, программный модуль формирует предупреждение о несовместимости параметров и предлагает пользователю проверить корректность измерений.

Реализация данного механизма позволяет исключить использование ошибочных или противоречивых данных на последующих этапах анализа кислотно-щелочного состояния, что существенно повышает надёжность формируемых диагностических заключений. В отличие от предыдущей версии алгоритма, новая реализация обеспечивает предварительную валидацию входных параметров и предотвращает интерпретацию некорректных значений.

Для количественной оценки эффективности разработанной системы было проведено тестирование на наборе клинических сценариев, включающих различные типы нарушений кислотно-щелочного состояния. Всего было проанализировано 50 тестовых случаев, среди которых присутствовали метаболический ацидоз, метаболический алкалоз, дыхательный ацидоз, дыхательный алкалоз, а также смешанные нарушения (рис. 4).

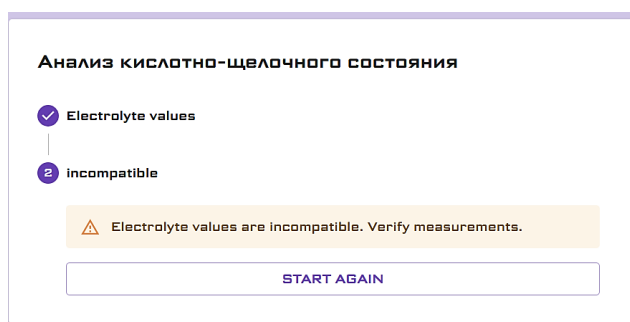


Рисунок 4 – Окно с результатом анализа кислотно-щелочного равновесия на основе клинических и лабораторных данных

Результаты тестирования показали, что система корректно классифицировала 47 из 50 случаев, что соответствует точности 94%. Наибольшая эффективность алгоритма наблюдалась при анализе типичных форм нарушений кислотно-щелочного равновесия. Ошибки интерпретации были связаны преимущественно с внутренне противоречивыми или физиологически несогласованными входными данными.

Таким образом, внедрение блока контроля совместимости электролитов повышает устойчивость системы к ошибкам ввода и лабораторным погрешностям, а также способствует повышению клинической достоверности результатов, что является важным условием её практического применения в медицинской диагностике. Полученные результаты подтверждают эффективность применения разработанной системы для анализа нарушений кислотно-щелочного состояния и согласуются с современными исследованиями, посвящёнными использованию алгоритмических и интеллектуальных методов в интерпретации газового состава крови и электролитных нарушений [20-23].

Заключение

Проведённый анализ подтверждает, что исследование газового состава крови, особенно артериальной, является ключевым инструментом диагностики нарушений вентиляции, оксигенации и кислотно-основного равновесия. Комплексная оценка pH , P_aCO_2 , HCO_3^- /BE и показателей оксигенации позволяет дифференцировать респираторные и метаболические расстройства, определить степень компенсации и своевременно выявлять смешанные нарушения.

Цель исследования достигнута – обоснована клиническая значимость ABG и показана эффективность алгоритмизированной интерпретации KOP. Использование компьютерной системы поддержки решений демонстрирует, что формализация физиологических закономерностей способствует стандартизации анализа, повышает воспроизводимость заключений и снижает риск интерпретационных ошибок.

Научная новизна работы заключается в представлении ABG как основы для

алгоритмического анализа и обосновании применения логических моделей для поддержки клинических решений. Практическая значимость связана с возможностью использования алгоритмизированной интерпретации в интенсивной терапии, при хронической дыхательной недостаточности и метаболических нарушениях для ускорения диагностики и контроля компенсации. Особенностью разработанной системы является интеграция этапа автоматического контроля достоверности лабораторных данных, что снижает риск диагностических ошибок.

К ограничениям относится ориентация алгоритма на единичный временной срез данных. Перспективы дальнейших исследований включают разработку модулей портала интеллектуальной системы поддержки принятия клинических решений в гематологии и диабетологии на основе технологии газометрии крови.

Список литературы

1. Pippalapalli J. The respiratory system and acid–base disorders / J. Pippalapalli, A.B. Lumb // BJA education. – 2023. – № 23(6). – P. 221-228. <https://doi.org/10.1016/j.bjae.2023.03.002>.
2. Arterial blood gas / D. Castro et al // StatPearls. – 2024. https://www.statpearls.com/point-of-care/17837#ref_18755915.
3. Arterial Versus Venous Blood Gas Analysis Comparisons, Appropriateness, and Alternatives in Different Acid/Base Clinical Settings: A Systematic Review / L. Saberian et al // Cureus. – 2023. – № 15(7). – P. e41707. <https://doi.org/10.7759/cureus.41707>.
4. Fundamentals of arterial blood gas interpretation / J. Yee et al // Kidney360. – 2022. – № 3(8). – P. 1458-1466. <https://doi.org/10.34067/KID.0008102021>.
5. Sanagustín M.N. Blood gas analysis: Clinical applications, interpretation and future directions / M.N. Sanagustín, J. Osredkar // Medicine International. – 2025. – № 6(1). – P. 7. <https://doi.org/10.3892/mi.2025.291>.
6. Bleich H.L. Computer evaluation of acid-base disorders / H.L. Bleich // The Journal of clinical investigation. – 1969. – № 48(9). – P. 1689-1696. <https://doi.org/10.1172/JC1106134>.
7. Shaw I. Acid-base balance: a review of normal physiology / I. Shaw, K. Gregory // BJA education. – 2022. – № 22(10). – P. 396-401. <https://doi.org/10.1016/j.bjae.2022.06.003>.
8. Physiology of intracellular calcium buffering / D. Eisner et al // Physiological Reviews. – 2023. – № 103(4). – P. 2767-2845. <https://doi.org/10.1152/physrev.00042.2022>.
9. Bear R.A. Assessing acid-base imbalances through laboratory parameters / R.A. Bear, M. Gribik // Hospital Practice. – 1974. – № 9(11). – P. 157-165. <https://doi.org/10.1080/21548331.1974.11706454>.
10. Zaharani L. Student exploration of the Henderson-Hasselbalch equation and pH readings to determine the pK_a value of 4, 4'-trimethylenedipiperidine (TMDP) / L. Zaharani, N.G. Khaligh // Chemistry Teacher International. – 2023. – № 5(4). – P. 427-437. <https://doi.org/10.1515/cti-2023-0036>.
11. Sanagustín M.N. Blood gas analysis: Clinical applications, interpretation and future directions / M.N. Sanagustín, J. Osredkar // Medicine International. – 2025. – № 6(1). – P. 7. <https://doi.org/10.3892/mi.2025.291>.
12. Dervieux, E. (2024). Caractérisation transcutanée non invasive du contenu sanguin en dioxyde de carbone (CO₂) (Doctoral dissertation, Université de Strasbourg). <https://theses.hal.science/tel-04960702/>
13. Severinghaus J.W. Blood gas analysis and critical care medicine / J.W. Severinghaus, P. Astrup, J.F. Murray // American journal of respiratory and critical care medicine. – 1998. – № 157(4). – P. S. 114-122. <https://doi.org/10.1164/ajrccm.157.4.nhlb1-9>.
14. Agrò F.E. Acid-base balance and blood gas analysis. In Postoperative critical care for adult cardiac surgical patients / F.E. Agrò, M. Vennari, M. Benedetto // (Cham: Springer International Publishing. – 2018. – P. 495-526. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-75747-6_16
15. ABG Assistant—Towards an Understanding of Complex Acid-Base Disorders / Ł. Gutowski et al // Journal of Clinical Medicine. – 2021. – № 10(7). – P. 1516. <https://doi.org/10.3390/jcm10071516>.
16. Hubble S.M. Acid-base and blood gas analysis / S.M. Hubble // Anaesthesia & Intensive Care Medicine. – 2004. – № 5(11). – P. 380-383. <https://doi.org/10.1383/anes.5.11.380.53406>.
17. Constable P.D. Clinical assessment of acid-base status: comparison of the Henderson-Hasselbalch and strong ion approaches / P.D. Constable // Veterinary clinical pathology. – 2000. – № 29(4). – P. 115-128. <https://doi.org/10.1111/j.1939-165x.2000.tb00241.x>.

18. Algorithms to estimate PaCO₂ and pH using noninvasive parameters for children with hypoxemic respiratory failure / R.G. Khemani et al // Respiratory care. – 2014. – № 59(8). – P. 1248-1257. <https://doi.org/10.4187/respcare.02806>.
19. Hutch M.R. Applications and challenges of human computer interaction and AI interfaces for health care / M.R. Hutch, Y. Luo // Human Computer Interaction in Healthcare: The Role of Cognition. – 2024. – P. 63-90.
20. Prediction of acid-base and potassium imbalances in intensive care patients using machine learning techniques / R. Phetrittikun et al // Diagnostics. – 2023. – № 13(6). – P. 1171. <https://doi.org/10.3390/diagnostics13061171>.
21. Smith-Erichsen N. Acid-base disturbances in intensive-care patients / N. Smith-Erichsen, J. Kofstad, B. Ingvaldsen // Tidsskrift for den Norske Laegeforening: Tidsskrift for Praktisk Medicin, ny Raekke. – 2010. – № 130(15). – P. 1471-1474. <https://doi.org/10.4045/tidsskr.09.0302>.
22. Arterial blood gas analysis and clinical decision-making in emergency and intensive care unit nurses: A performance evaluation / A. Zaboli et al // In Healthcare. – 2025. – Vol. 13, № 3. – P. 261. <https://doi.org/10.3390/healthcare13030261>.
23. Krbec M. Sources of error in interpretation of blood gas analysis: Current acid-base models of plasma. – 2023. <https://air.unimi.it/handle/2434/976730>.

И.М. Увалиева, Ж.Т. Рахметуллина, Ш.Т. Тезекпаева*, Д.Р. Борозенец, Ж.Ж. Нурумов

Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті,

Қазақстан Республикасы, Өскемен қаласы, Серікбаев көшесі, 19

*e-mail: shtezekpaeva@ektu.kz

ГЕНДЕРСОН-ХАССЕЛЬБАЛХ ТЕҢДЕУІНЕ НЕГІЗДЕЛГЕН ҚАН ГАЗОМЕТРИЯСЫ ДЕРЕКТЕРІ БОЙЫНША ҚЫШҚЫЛ-НЕГІЗДІК ТЕПЕ-ТЕҢДІК БҰЗЫЛЫСТАРЫН ДИАГНОСТИКАЛАУҒА АРНАЛҒАН КЛИНИКАЛЫҚ ШЕШІМДЕРДІ ҚОЛДАУ МОДЕЛІ

Мақалада қышқыл-негіздік тепе-теңдік (ҚНТ) бұзылыстарын диагностикалауға арналған клиникалық шешімдерді қолдау жүйесі қарастырылады. Жүйе қанның газдық құрамын (ABG) талдауға және Henderson-Hasselbalch equation теңдеуіне негізделген. Қазіргі клиникалық тәжірибеде диагностиканың дәлдігі мен жылдамдығына қойылатын талаптардың артуы ABG көрсеткіштерін алгоритмдік өңдеудің маңыздылығын күшейтеді. Зерттеу жұмысы қан газдарының негізгі параметрлерін (рН, P_aCO_2 , HCO_3^- , BE) жүйелеуге, олардың физиологиялық өзара байланысын талдауға және қышқыл-негіздік бұзылыстарды автоматты түрде жіктейтін логикалық-математикалық модель құруға бағытталған. Алгоритмдік тәсіл метаболикалық және респираторлық бұзылыстарды, сондай-ақ аралас түрлерін компенсациялық механизмдерді ескере отырып анықтауға мүмкіндік береді. Нәтижесінде компьютерлік модельді қолдану диагноз қоюдың объективтілігін арттырып, клиникалық шешім қабылдау сапасын жақсартады.

Түйін сөздер: қышқыл-негіздік тепе-теңдік, артериялық қанның газдық құрамы, артериялық газометрия (ABG), Гендерсон-Хассельбах теңдеуі, клиникалық шешімдерді қолдау жүйесі, алгоритмдік интерпретация, респираторлық және метаболикалық бұзылыстар, математикалық және логикалық модельдеу.

I. Uvaliyeva, Zh. Rakhmetullina, Sh. Tezekpayeva*, D. Borozenets, Zh. Nurumov

D. Serikbayev East Kazakhstan technical university

*e-mail: shtezekpaeva@ektu.kz

CLINICAL DECISION SUPPORT MODEL FOR THE DIAGNOSIS OF ACID-BASE DISORDERS BASED ON BLOOD GAS ANALYSIS USING THE HENDERSON-HASSELBALCH EQUATION

This article presents a clinical decision support system for diagnosing acid–base balance disorders based on arterial blood gas (ABG) analysis using the Henderson–Hasselbalch equation. Considering the increasing requirements for accuracy and rapid clinical diagnostics, algorithm-based interpretation of ABG parameters has become highly relevant. The study aims to systematize the key blood gas indicators (pH, P_aCO_2 , HCO_3^- , BE) and analyze their physiological relationships, as well as to develop a logical and mathematical model for automated classification of acid–base disorders. The proposed algorithm enables the identification of metabolic, respiratory, and mixed disturbances, taking compensatory mechanisms into account. The results demonstrate that the implementation of a computerized decision support model enhances diagnostic objectivity, reduces interpretation errors, and improves the quality of clinical decision-making.

Key words: acid-base balance, arterial blood gas composition, arterial blood gas analysis (ABG), Henderson-Hasselbalch equation, clinical decision support system, algorithm-based interpretation, respiratory and metabolic disorders, mathematical and logical modeling.

Сведения об авторах

Индира Махмутовна Увалиева – PhD, Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан; e-mail: iuvalieva@ektu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2117-5390>.

Женисгуль Толеухановна Рахметуллина – кандидат физико-математических наук, Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан; e-mail: zhrakhmetullina@ektu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0554-7684>.

Шынар Толегеновна Тезекпаева* – докторант ОП «Информационные системы», школа цифровых технологий и искусственного интеллекта, Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан; e-mail: shtezekpaeva@ektu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-9552-0288>.

Давид Рафаэлевич Борозенец – магистрант ОП «Математическое и компьютерное моделирование», Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан; e-mail: borozenets.david.sh4@yandex.kz. ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-2017-5840>.

Жарас Жолымханулы Нурумов – докторант ОП «Информационные системы», школа цифровых технологий и искусственного интеллекта, Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Республика Казахстан; e-mail: znurumov@ektu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-2016-6876>.

Авторлар туралы мәліметтер

Индира Махмутовна Увалиева – PhD, Д.Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен қаласы, Қазақстан; e-mail: iuvalieva@ektu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2117-5390>.

Женисгуль Толеухановна Рахметуллина – физика-математика ғылымдарының кандидаты, Д.Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен қаласы, Қазақстан; e-mail: zhrakhmetullina@ektu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0554-7684>.

Шынар Толегеновна Тезекпаева* – «Ақпараттық жүйелер» БББ докторанты, цифрлық технологиялар және жасанды интеллект мектебі, Д.Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен қаласы, Қазақстан; e-mail: shtezekpaeva@ektu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-9552-0288>.

Давид Рафаэлевич Борозенец – «Математикалық және компьютерлік модельдеу» БББ магистранты, Д.Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен, Қазақстан Республикасы; e-mail: borozenets.david.sh4@yandex.kz. ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-2017-5840>.

Жарас Жолымханулы Нурумов – «Ақпараттық жүйелер» БББ докторанты, цифрлық технологиялар және жасанды интеллект мектебі, Д.Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен, Қазақстан Республикасы; e-mail: znurumov@ektu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-2016-6876>.

Information about the authors

Indira Uvaliyeva – PhD, D.Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan; e-mail: iuvalieva@ektu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2117-5390>.

Zhenisgul Rakhmetullina – Candidate of Physical- Mathematical Sciences, D.Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan; e-mail: zhrakhmetullina@ektu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0554-7684>.

Shynar Tezekpaeva* – PhD student, the School of Digital Technology and artificial intelligence, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan; e-mail: shtezekpaeva@ektu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-9552-0288>.

David Borozenets – student of the EP «Mathematical and Computer Modeling», D.Serikbayev Oskemen, East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Republic of Kazakhstan; e-mail: borozenets.david.sh4@yandex.kz. ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-2017-5840>.

Zharas Nurumov – PhD student, the School of Digital Technology and artificial intelligence, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Republic of Kazakhstan; e-mail: znurumov@ektu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-2016-6876>.

Поступила в редакцию 31.03.2026

Поступила после доработки 19.05.2026

Принята к публикации 20.05.2026