

Д. Ю. Кетов¹, А. И. Нефедьев^{1,2}

**СИСТЕМА ФИКСАЦИИ НАРУШЕНИЙ
В РАБОТЕ ГИСТОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОРОВ
ПРИ ПЕРВИЧНОЙ ДИАГНОСТИКЕ**

¹ Волгоградский государственный медицинский университет

² Волгоградский государственный технический университет

ya_st@bk.ru, nefediev@rambler.ru

Автор, ответственный за переписку: Алексей Иванович Нефедьев, nefediev@rambler.ru

В статье приводятся результаты разработки системы фиксации нарушений в работе гистологических процессоров при первичной диагностике, что позволяет врачу уточнить диагноз и определить морфологические особенности патологического процесса. Данная система является на данный момент более точной и удобной, так как позволяет выявить неисправность в конкретный момент времени и фиксировать причину неисправности. Главным преимуществом разработанной системы является возможность одновременного контроля нескольких аппаратов. Также данная система может быть использована для расширения штатной системы автоматического контроля.

Ключевые слова: автоматизированная система, нарушение, патологический процесс, неисправность, первичная диагностика, контроль

D. Yu. Ketov¹, A. I. Nefed'ev^{1,2}

**SYSTEM FOR RECORDING DISORDERS IN THE FUNCTIONING
OF HISTOLOGICAL PROCESSORS IN PRIMARY DIAGNOSIS**

¹ **Volgograd State Medical University**

² **Volgograd State Technical University**

The article presents the results of the development of a system for recording disturbances in the operation of histological processors during primary diagnostics, which allows the doctor to clarify the diagnosis and determine the morphological features of the pathological process. This system is currently more accurate and convenient, as it allows you to identify a malfunction at a specific point in time and record the cause of the malfunction. The main advantage of the developed system is the ability to simultaneously monitor several devices. This system can also be used to expand the standard automatic control system.

Keywords: automated system, violation, pathological process, malfunction, primary diagnostics, control

В медицинских учреждениях, исследовательских лабораториях и судебно-медицинской экспертизе проводят гистологическое исследование аутопсийного, биопсийного материала, что позволяет врачу уточнить диагноз и определить морфологические особенности патологического процесса. При диагностике заболеваний, для определения структурных изменений органов и тканей человека, широко применяют специализированное устройство, используемое при подготовке образцов ткани для гистологического исследования. При работе с большими объемами материала применяют автоматизированные гистологические системы линейного и карусельного типа. Они ускоряют процесс обезвоживания за счет постоянного перемешивания жидкости в емкостях, с последующими операциями проводки в промежуточных смесях и обработки в несколько этапов парафинами.

При подготовке материала требуется правильность выполнения заданных программ и режимов работы и корректной настройки оборудования. А предотвращение ошибок на этапе гистологической обработки является актуальной практической задачей, которую постоянно приходится решать в любой патоморфологической лаборатории.

При возникновении неисправностей в работе данного оборудования инженер сталкивается с рядом проблем. Одна из них – большая длительность выполнения программ порядка 14–24 часа, что затрудняет диагностику. Сервисные инженеры, как правило, в таких случаях проводят испытания на коротких программах, что не всегда позволяет выявить причины неисправности. В результате делаются некорректные заключения об исправности оборудования и неумелых действиях медицинского персонала с последующим снятием оборудования с гарантии.

Другая проблема связана с тем, что работа оборудования проходит как в дневное, так и в ночное время. В отсутствие медицинского персонала оборудование фактически предоставлено само себе. В случае возникновения нештатной ситуации в оборудовании отсутствуют системы автоматического контроля за его работой. В результате это может привести к порче самого оборудования и возникновению опасных ситуаций. В процессе работы используются агрессивные жидкости (ксилол) и парафины, нагретые до температуры плавления, которые могут вызывать как порчу защитных элементов корпуса, так и повреждения внутренних элементов и плат управления. Поэтому актуальна разработка системы, позволяющей при первичной диагностике собирать максимальное количество информации о состоянии прибора.

В настоящее время для обнаружения подобных сбоев используют системы видеофиксации. Они осуществляют визуальный контроль для предварительной оценки ситуации. Но данные системы слабо развиты и не обладают всем необходимым функционалом.

Также в процессе работы гистологических процессоров можно столкнуться со следующими проблемами:

1) Неверное выполнение алгоритмов заданных программ (возможность одновременного выполнения трех разных программ в гистологическом процессоре МТпоинт TLP-144). Данное оборудование может работать с несколькими корзинками материала. В случае возникновения алгоритмического сбоя происходит попытка перемещения двух корзинок в одну ванну с промежуточными смесями (ксилол) или парафинами, в результате чего может произойти порча оборудования и материала. Сбой очередности выполнения заданных этапов программы ведет к нарушению технологии проведения гистологических образцов.

2) Неверная установка температуры подогрева всех ванночек, что может приводить к перегреву парафинов и порче образцов, либо недостаточному прогреву парафинов по всему объему и, как следствие, застреванию корзинки в ванночке и сбрасыванию корзинки с руки манипулятора.

3) Чувствительность оборудования к внешним питающим сетям. Используются дополнительные источники бесперебойного питания (МТпоинт TLP-144).

4) Нарушение в работе функции перемешивания ведет к неравномерному пропитыванию образца, обеспечивая менее точные и надежные результаты.

5) Нарушение в работе времени задержки корзины способствует менее точному и неконтролируемому стеканию реагентов, и возможному попаданию их в соседние ванночки, что

в свою очередь ухудшает качество проводки.

Для выявления характера неисправности требуется постоянное наблюдение за оборудованием и использование специализированных диагностических систем, предназначенных для работы в указанных временных интервалах. В настоящее время применяют ряд методов контроля и вспомогательное измерительное оборудование, которые не показали достаточной эффективности и не позволяют проводить комплексную диагностику.

В результате была разработана автоматизированная система для фиксации нарушений в работе гистологического оборудования, структурная схема которого представлена на рис. 1, в состав которой входит портативный измерительный комплекс и программное обеспечение для оценки и отображения результатов измерения [1].

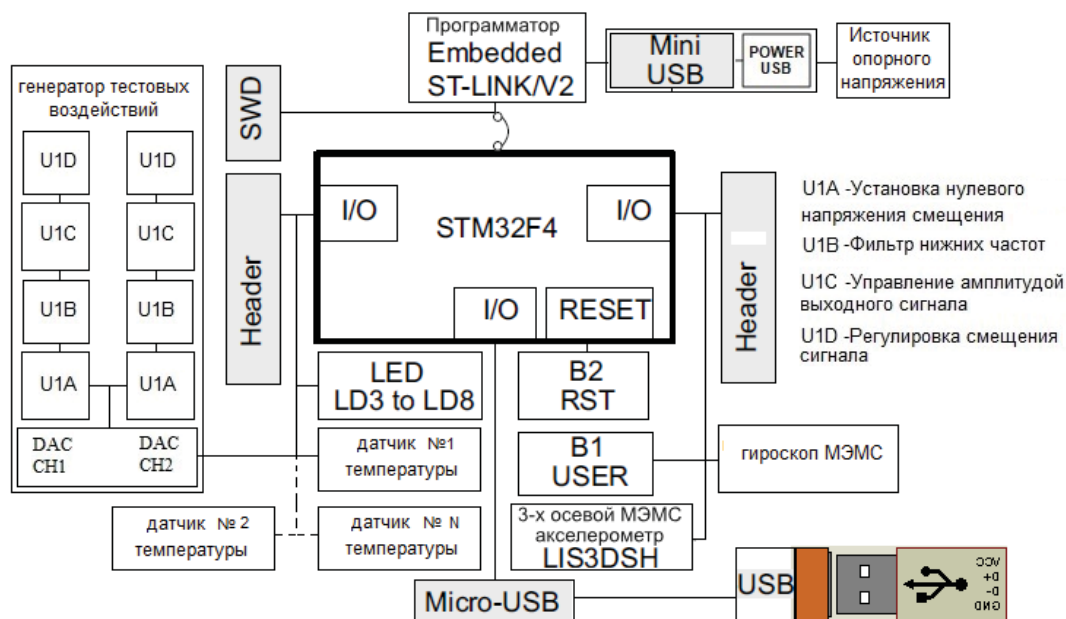


Рис. 1. Структурная схема автоматизированного испытательного стенда

Разработанная система рассчитана на работу по длительным программам (порядка 24 часов) и даже в случае нерегулярного проявления неисправности способна ее зафиксировать.

В системе, для поиска указанных выше неисправностей, используется следующий набор тестовых воздействий и данных с измерительных датчиков:

1) Запись данных с трехосевого акселерометрического датчика MEMS LIS3DSH для фиксации положения, направления движения, времени перемещения руки манипулятора с образцами. Под поставленные задачи был выбран

высокоэффективный микроэлектромеханический цифровой акселерометр с ультранизким энергопотреблением, схема которого представлена на рис. 2.

Акселерометр может быть запрограммирован для выполнения специфического алгоритма: детектирование движений определенной сигнатуры, когда сенсор за счет своего функционала способен зарегистрировать требуемый профиль ускорений и выполнить какое-либо действие (генерация прерывания хост-контролеру) в соответствии с этим профилем (реакция устройства на действия, которые оно совершает

при взаимодействии с тем или иным электронным устройством или объектом). Эта особенность позволяет снизить вычислительную на-

грузку на хост-контроллер, уменьшить суммарное энергопотребление и расширить функционал системы в целом.

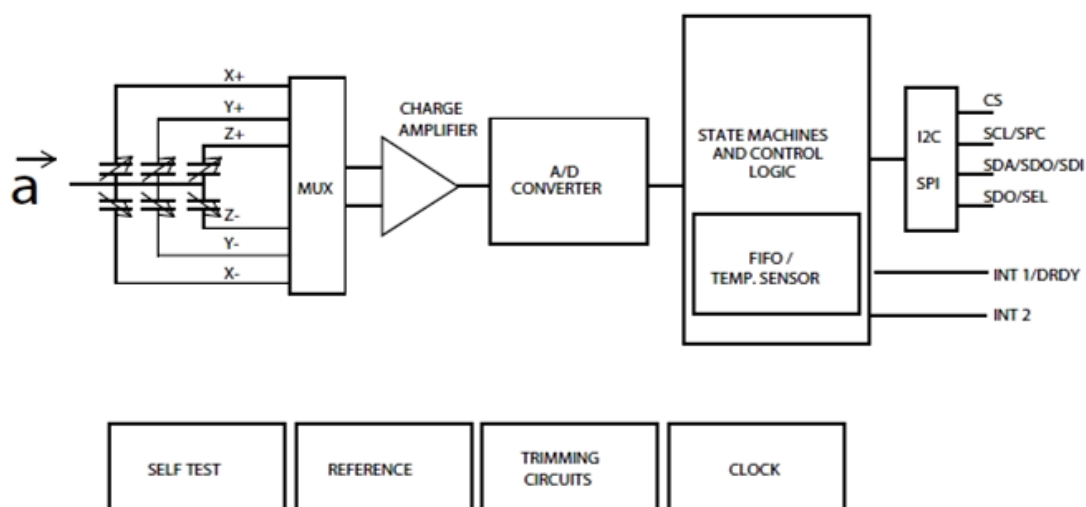


Рис. 2. Блок-схема (MEMS) трехосевого акселерометра

Основные характеристики MEMS LIS3DSH:

Диапазон питающего напряжения 1,71–3,6 В;

Режим ультранизкого энергопотребления менее 11 мкА;

Динамический изменяющийся предел измерений $\pm 2g/\pm 4g/\pm 6g/\pm 8g/\pm 16g$;

16-разрядный формат выходных данных;

Генерирование сигналов прерывания по определенному шаблону движения;

Встроенный температурный сенсор;

Встроенный режим самотестирования;

Диапазон рабочих температур от -40°C до $+85^{\circ}\text{C}$;

Стойкость к ударам до 10000 g;

Чувствительность mg/digit 0,06;

Частота среза, Гц 1600.

В результате работы автоматизированной системы с применением данного датчика были получены следующие результаты (рис. 3). На графике зафиксировано движение руки манипулятора при опускании образца в ванночку с ксилолом – окно 2. Можно оценить длительность выполнения операции, направление движения, характерное ускорение в процессе выполнения операции (по высоте и наклону вертикальной части кривой), наличие вибраций и равномерность движения, в целом зафиксировать возможные отклонения от штатных режимов работы (удар о препятствие – окно 1, сброс материала, падение руки манипулятора с образцами). Также можно обнаружить нару-

шения в работе функции перемешивания – окно 4, длительность погружения в каждую емкость. В данном примере на графике произведено 10 повторений операции перемешивания. Также зафиксировать нарушения в работе времени задержки корзины над ванной при стекании реагентов.

В результате осуществляется как визуальное наблюдение, так и программный контроль за правильностью работы алгоритмов при тестировании по различным программам, записанным в памяти гистологического аппарата для получения первичной информации о характере неисправности и последующее составление алгоритма дальнейшего поиска неисправного блока. У инженера есть возможность просмотреть запись работы руки манипулятора длительностью 24 часа.

2) Многоканальный блок с датчиками температур позволяет фиксировать распределение температур со всех ванночек. Позволяет оценить степень прогрева парафинов по всей емкости, нагрев ванны с промежуточными смесями (ксилोल). Данная возможность позволяет обнаружить проблему застревания корзинки в ванночке и последующего сбрасывания корзинки с руки манипулятора. Также неправильный нагрев всех жидкостей и парафинов для предотвращения нарушения технологии проводки.

3) Блок контроля параметров питающей сети и формирования помех предназначен для ге-

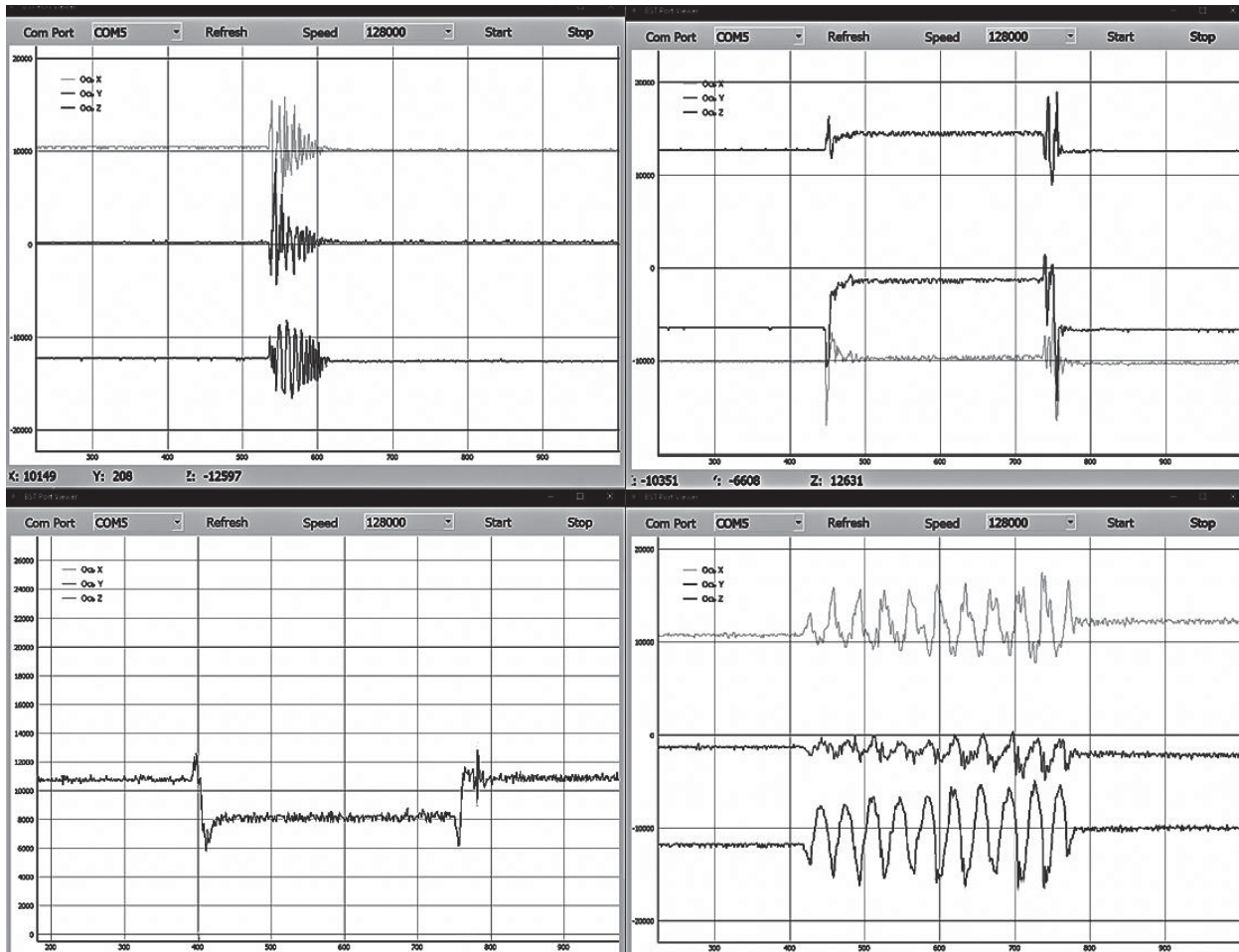


Рис. 3. График для фиксации положения руки манипулятора с образцами, направления движения, времени перемещения

нерации сетевых наводок. Генератор тестовых воздействий формирует наводки по заданным параметрам и необходимой формы воздействующего сигнала. Также позволяет оценить основные параметры питающей сети и вести их запись продолжительностью 24 часа. Есть возможность оценить показатели и нормы качества электрической энергии такие как отклонение частоты – отклонение значения основной частоты напряжения электропитания от номинального значения, δf , Гц

$$\Delta f = f_m - f_{nom}$$

где f_m – значение основной частоты напряжения электропитания, Гц, измеренное в интервале времени 10 с (в соответствии с требованиями ГОСТ 30804.4.30, подраздел 5.1 – отклонение частоты в синхронизированных системах электроснабжения не должно превышать $\pm 0,2$ Гц в течение 95 % времени интервала в одну неделю и $\pm 0,4$ Гц в течение 100 % времени интервала в одну неделю); f_{nom} – номинальное значение частоты напряжения электропитания, Гц.

Медленные изменения напряжения электропитания (как правило, продолжительностью более 1 мин) обусловлены обычно изменениями нагрузки электрической сети. Показателями, относящимися к медленным изменениям напряжения электропитания, являются отрицательное $\delta U(-)$ и положительное $\delta U(+)$ отклонения напряжения электропитания в точке передачи электрической энергии от номинального/согласованного значения, %:

$$\delta U_{(-)} = \left[\frac{(U_0 - U_{m(-)})}{U_0} \right] \cdot 100;$$

$$\delta U_{(+)} = \left[\frac{(U_{m(+)} - U_0)}{U_0} \right] \cdot 100$$

где $U_{m(-)}$, $U_{m(+)}$ – значения напряжения электропитания, меньшие U_0 и большие U_0 соответственно, усредненные в интервале времени 10 мин в соответствии с требованиями ГОСТ 30804.4.30, подраздел 5.12; U_0 – напряжение, равное стандартному номинальному напряжению U_{nom} .

В том числе колебания напряжения, фликер и прочие характеристики в соответствии с ГОСТ 32144-2013.

В результате использования данной системы отпадает необходимость использования коротких программ, которые не всегда позволяют имитировать ситуацию, при которой произойдет сбой.

Портативный измерительный комплекс, место установки которого представлено на рис. 4, представляет собой специализированное изме-

рительное оборудование, которое предназначено для испытаний гистологических систем линейного типа в течение длительного времени.

Автоматизированный испытательный стенд представляет собой совокупность рабочей области для закрепления тестируемого устройства и измерительного оборудования, необходимого для снятия показателей реакции медицинского прибора на внешнюю нагрузку.

Его структурная схема представлена на рис. 4 [2; 3].

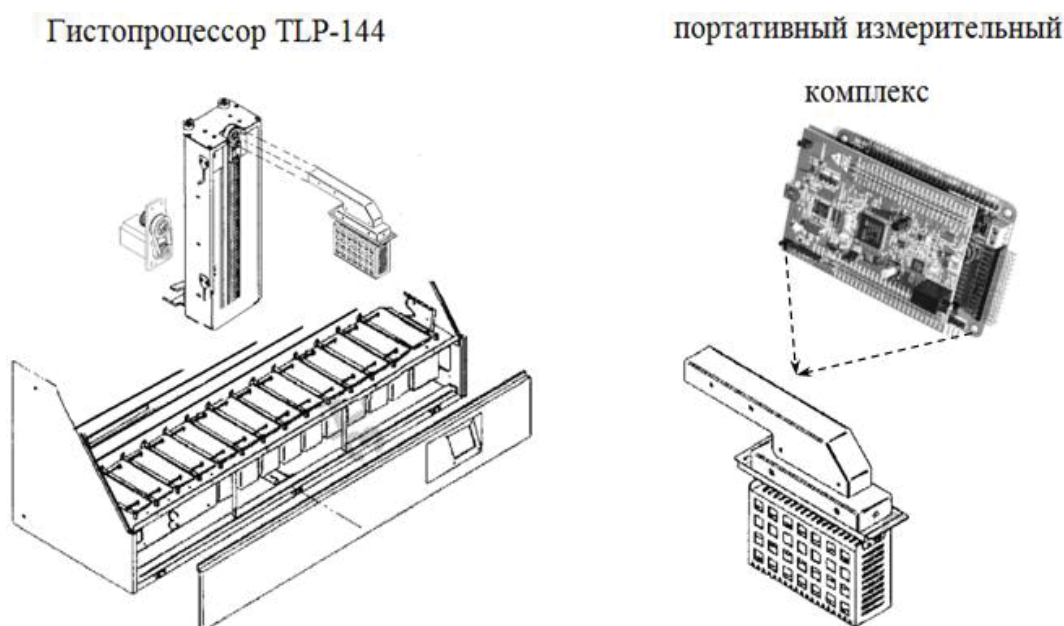


Рис. 4. Точка установки портативного измерительного комплекса

В процессе работы диагностической системы запускается программное обеспечение, которое осуществляет визуализацию данных получаемых от аппаратной части устройства (рис. 5) [4].

Инженеру требуется произвести предварительную настройку скорости опроса устройства, запустить процесс записи данных с акселерометрического датчика, и выбрать программу работы гистопроцессора линейного типа (ПО проверяет положение руки манипулятора и устанавливается нулевое положение, также выбирается одна из программ подготовки образцов 12–24 часов).

Далее требуется ожидание корректного выполнения программы диагностируемого оборудования или обнаружение ошибки. Во время работы гистопроцессора все данные будут регистрироваться и отображаться в графической форме, представленной на рис. 5, и записываться на компьютере инженера.

Следующим шагом инженеру требуется провести анализ полученных графиков и выявить, на каком из этапов испытуемый аппарат начал некорректную работу, или произошел сбой – сброс корзины с образцами [5].

Разработанная ИИС позволяет по снятой измерительной информации производить анализ корректности работы испытуемого оборудования. Для этого анализируется:

- алгоритм перемещения корзины от одной емкости к другой согласно программе проводки;
- алгоритм перемещения двух корзин одновременно, в соответствии с двумя различными программами;
- работа защиты от перебоев питания;
- выполнение программы после отключения электропитания;
- длительность погружения в каждую емкость;
- и другие параметры.

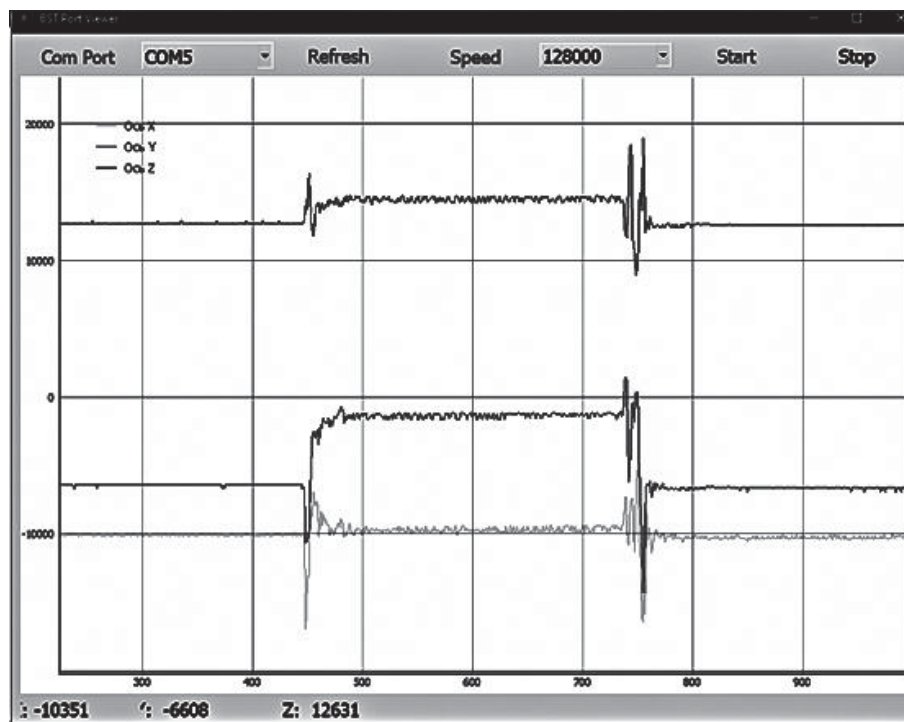


Рис. 5. Графическая форма

Этот метод диагностики является на данный момент более точным и удобным, так как позволяет выявить неисправность в конкретный момент времени и фиксировать причину неисправности. Главным преимуществом системы также является возможность одновременного контроля нескольких аппаратов.

Данную разработку также можно порекомендовать к использованию в качестве расширения штатной системы автоматического контроля.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Кетов, Д. Ю.* Информационно-измерительная система автоматизированного контроля технического состояния электроэнцефалографа : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Д. Ю. Кетов, 2023. – 179 с.

2. *Ketov D., Nefedev A., Bezborodov S.* Hardware and Software Equipment for Monitoring the Technical Condition of the Electroencephalograph//Series on Biomechanics. – Vol. 36. – No. 2 (2022). – P. 55–62.

3. *Кетов, Д. Ю.* Применение DDS-генератора для мониторинга технического состояния электроэнцефалографа / Д. Ю. Кетов, А. И. Нефедьев // Энерго- и ресурсосбережение: промышленность и транспорт. – 2022. – № 1(38). – С. 45–49.

4. *Кетов, Д. Ю.* Автоматизированный сетевой стенд для оперативных испытаний энцефалографа / Д. Ю. Кетов, Ю. П. Муха // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 11 (176) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2015. – (Серия «Электроника, измерительная техника, радиотехника и связь»; вып. 12). – С. 84–88.

5. Автоматизированный сетевой программный комплекс, предназначенный для проведения инструментального контроля технического состояния электроэнцефалографа / Д. Ю. Кетов, Ю. П. Муха, М. Л. Черножуков, С. С. Либенко // Телекоммуникации. – 2019. – № 4. – С. 42–48. – EDN XAOJCL.