

## СИСТЕМА АНАЛИЗА РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ НА ИЗНОС ТРИБОЭЛЕМЕНТОВ ТОРФЯНЫХ МАШИН

И.В. ГОРЛОВ, д-р техн. наук

Тверской государственной технической университет, 170026, Тверь,  
наб. Аф. Никитина, д. 22, e-mail: gorloviv@yandex.ru

© Горлов И.В., 2021

В статье приведено описание системы анализа триботехнических испытаний, которая позволяет на основе объективных данных контроля оценивать состояние изучаемого объекта путем комплексной обработки информации, получаемой в процессе исследований. Использование предлагаемой динамически изменяемой системы обработки информации дает возможность легко корректировать процесс испытаний трибоузлов с целью получения требуемых параметров для анализа результатов измерений.

*Ключевые слова:* торфяные машины, эксплуатация, модернизация, надежность, ресурс, узлы трения, исследования.

**DOI: 10.46573/2658-5030-2021-52-62**

### ВВЕДЕНИЕ

Одной из особенностей эксплуатации торфяных машин (ТМ) является сезонность их использования. Следовательно, недопустимо, чтобы трудоемкие отказы приводили к простоем машин в весенне-летний период. Конструкция основных узлов трения торфяной машины должна обеспечивать необходимую долговечность, износостойкость, доступную взаимозаменяемость по деталям и обладать достаточно удобной сборкой.

Большинство деталей торфяных машин, особенно их рабочие органы и гусеничные механизмы, работают в тяжелых условиях и подвергаются статическим и динамическим нагрузкам, подвержены воздействию агрессивной окружающей среды. В процессе длительной эксплуатации торфяные машины неоднократно ремонтируются в связи с тяжелыми условиями эксплуатации (значительная влажность и высокая кислотность торфяной залежи, наличие абразивных частиц и древесных включений и т.п.). По статистическим данным эксплуатации ТМ известно, что с увеличением наработки затраты на текущий и аварийный ремонт машин значительно возрастают, а производительность снижается [1, 2]. Наступает такой момент, когда восстановление работоспособности машины становится экономически невыгодным, а дальнейшая ее эксплуатация принесет убытки. Следовательно, при конструировании и модернизации торфяных машин требуется добиваться существенного повышения ресурса трибоузлов, что обеспечит снижение затрат на эксплуатацию. Улучшение условий трения в узлах ТМ позволит активно влиять на основные факторы, определяющие характер взаимодействия трущихся поверхностей, что предотвратит их преждевременное разрушение.

Торфяную машину снимают с эксплуатации, когда стоимость выполняемых ею работ превышает некоторый установленный для конкретного предприятия минимум. При этом предельная наработка ТМ определяется исходя из экономических

соображений [3]. Основная цель производителей и эксплуатирующих организаций торфяных машин должна сводиться к максимальному повышению надежности [4], в том числе и за счет модернизации узлов трения агрегатов, что невозможно без современного измерительного оборудования.

В настоящее время для проведения триботехнических исследований используется широкий спектр испытательных машин, реализующих различные схемы трения [5–7]. Эти машины позволяют устанавливать большинство основных триботехнических характеристик узлов трения. Однако достаточно часто возникают проблемы, решение которых, вследствие особенностей исследуемых объектов, не может быть основано на применении типовых устройств. В этих случаях необходимо использовать оригинальные, специально разработанные устройства, моделирующие реальные узлы. Однако при использовании таких устройств не всегда удается получить достоверные результаты ввиду ограничений, связанных с конструктивными особенностями специальных испытательных машин. Так как для таких устройств не всегда возможна однозначная интерпретация получаемых результатов, то для их правильной оценки требуется контролировать более широкий спектр параметров.

Например, установка, используемая для определения фрикционных свойств материалов [8] позволяет измерять только один параметр – силу трения между образцами и скользунгом. В ее конструкции применяется один датчик (тензобалка LPS-30) для измерения силы трения. Давление на образцы создавалось весовым способом с помощью грузов, системы рычагов и блоков. Считалось, что давление на контактную поверхность образцов было постоянным, однако в ходе исследования возникли некоторые сложности с интерпретацией полученных результатов в связи с нестабильностью коэффициента трения, которая может быть объяснена колебанием нагрузки на образцы. Проанализировав полученные результаты и конструкцию машины трения, выявили, что как нагрузка на образцы, так и параметры движения были нестабильны в силу деформации образцов при изменении направления скольжения и конструктивных особенностей установки. В связи с этим потребовалось дополнительно регистрировать нагрузку на образцы, а также скорость их скольжения. При наличии таких показателей появляется возможность для более достоверной интерпретации полученных данных.

## **ОПИСАНИЕ СИСТЕМЫ АНАЛИЗА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ**

На сегодняшний день существуют различные подходы к решению задач триботехники с помощью информационных систем. Однако в основном предполагается жесткая привязка аппаратного и программного обеспечения к конкретной испытательной машине. Вследствие этого затруднено функциональное расширение системы регистрации, обработки и сохранения данных, что позволило бы с минимальными изменениями дополнить либо исключить тот или иной параметр исследования узла. С учетом этого обстоятельства потребовалось разработать динамически изменяемую и гибкую систему, позволяющую легко корректировать процесс исследования триботехнических узлов.

С опорой на имеющиеся технические и вычислительные возможности была создана система мониторинга, включающая в себя регистрацию, обработку, анализ и сохранение данных с датчиков трибоузлов и результатов исследования. Ключевой отличительной особенностью разрабатываемой системы является неограниченная и достаточно простая функциональная расширяемость процесса исследования трибоузлов, благодаря чему при необходимости можно добавлять или исключать

параметры исследования как при планировании исследования, так и во время его проведения. Кроме того, приложение такой системы дает возможность устанавливать взаимозависимости исследуемых параметров, осуществлять необходимые вычисления для получения требуемого результата исследования и проводить как визуальный, так и автоматизированный анализ с возможностью обратной связи. Кроме того, с помощью данной системы возможно измерение сложнопрогнозируемых параметров, которые могут быть получены не непосредственно с датчиков исследуемого трибоузла, а только при проведении анализа полученных данных. Например, при исследовании конкретного узла проводится виброакустический контроль с последующим анализом данных, результатом которого станет показатель зависимости силы трения от уровня вибраций или шума в трибоузле.

Система включает в себя подсистемы:

- исследуемый объект с датчиками, установленными на его узлах;
- преобразователь информации, получаемой с датчиков и отправляемой на ЭВМ (в частном случае – многоканальный аналогово-цифровой преобразователь);
- контроллер управления параметрами исследуемого объекта, который получает команды от ЭВМ и воздействует на параметры узлов или объекта в целом;
- ЭВМ с установленным на ней специально разработанным приложением.

С исследуемого объекта, находящегося в реальных эксплуатационных условиях, с помощью датчиков снимается информация о состоянии узлов. Затем полученная информация обрабатывается преобразователем, который конвертирует аналоговый сигнал датчиков в цифровые данные с последующей передачей в специально разработанное приложение, установленное на ЭВМ. Данные, полученные приложением со всех преобразователей информации, сохраняются в удобном для обработки и анализа виде. Кроме того, приложение может влиять на исследуемые параметры посредством передачи управляющих команд на контроллер управления, который в свою очередь будет воздействовать на исполнительные устройства исследуемого узла. Таким образом, оператор ЭВМ с помощью этого приложения может вести наблюдение и контролировать измеряемые параметры в исследуемом объекте в режиме реального времени. Кроме того, можно настроить приложение таким образом, что оно будет автоматически воздействовать на свойства исследуемого трибоузла посредством контроллера управления, и это также расширяет возможности исследования и повышает точность измерений.

Конструктивно измерительный блок состоит из корпуса, выполненного из листовой стали, на сторонах которого расположены разъемы и светоиндикация. Внутри корпуса смонтирована электронная схема преобразователя и контроллера, выполненная из однослойной печатной платы с размещенными на ней электронными компонентами. Периферия блока содержит:

- разъем для питания (12 В);
- коммуникационный порт (RS-232);
- разъем (DB-25F) для присоединения датчиков и исполнительных устройств и световую индикацию состояния (зеленый и красный светодиоды).

Питание блока осуществляется постоянным током с напряжением  $12 \pm 2$  В через разъем питания типа штырьковый 5,5x2,1. Сила тока, потребляемого блоком, должна быть не более 300 мА. Соединение и обмен данными блока с ЭВМ осуществляется по четырехпроводной схеме через коммуникационный разъем типа DB-9F по стандарту RS-232. Для получения аналогового сигнала с датчиков, а также осуществления питания промежуточных цепей измерения и выходов контроллера управления используется разъем аналогового интерфейса блока типа DB-15F. Напряжение питания

промежуточных цепей измерения на выходе аналогового интерфейса составляет  $5 \pm \pm 0,05$  В, а ток нагрузки внешних цепей не должен превышать 200 мА. Выходы контроллера управления (три линии) поддерживают уровни CMOS 5 В с током вытекания не более 40 мА, а втекания – не более 4 мА. Световая индикация включает в себя два светодиода: зеленый, который отображает нормальный режим работы блока и наличие синхронизации с ЭВМ, и красный, отображающий наличие ошибок при функционировании блока. На рис. 1 изображен электронный блок.

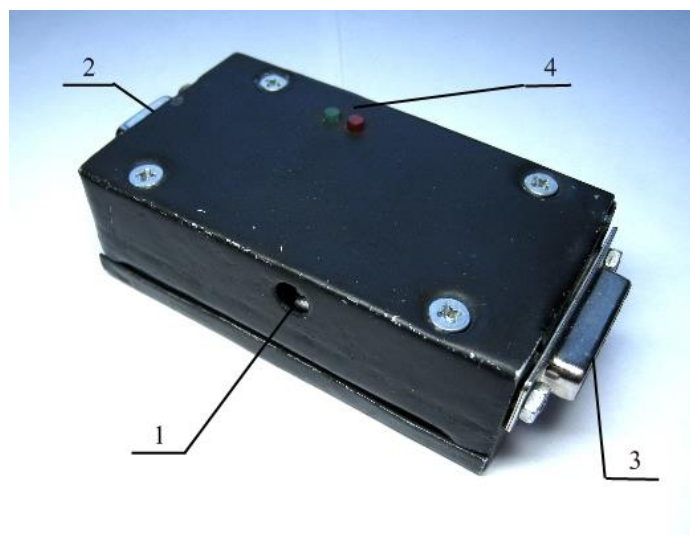


Рис. 1. Внешний вид электронного блока: 1 – разъем питания 12 В; 2 – разъем цифрового интерфейса RS-232; 3 – разъем аналогового интерфейса блока, 4 – световая индикация работы блока

Схема блока аналоговой части построена на основе аналогово-цифрового преобразователя AD7798 и прецизионного линейного стабилизатора 5 В для опорного питания, а цифровой части – на основе микроконтроллера серии STM8 и преобразователя уровней TTL – RS-232.

Для запуска блока необходимо подать питающее напряжение. После того как напряжение поступило на схему блока, происходит его подготовка к работе.

Подготовка блока к работе осуществляется следующим образом:

подается питание на микроконтроллер (МК) с последующим его рестартом;

подается питание на аналогово-цифровой преобразователь (АЦП);

далее МК связывается с АЦП и инициализирует его;

после инициализации АЦП подается питание на аналоговые цепи питания 5 В и включается защита от перегрузки выхода опорного напряжения;

начинается синхронизирующая последовательность для связи с ЭВМ по RS-232;

если при подготовке блока не допущено никаких ошибок, начнет мигать зеленый светодиод, что означает готовность к синхронизации блока с ЭВМ;

при наличии ошибок в подготовке блока начнет мигать красный светодиод.

После подготовки блока, если он подключен к ЭВМ и запущено специальное приложение, осуществляется синхронизация, после которой блоком полностью можно управлять из этого приложения.

Встроенный АЦП блока поддерживает конвертирование с одного из трех входных аналоговых каналов, а также конвейерное сканирование входов (последовательное конвертирование со входов по очереди, устанавливаемой в параметрах

работы блока с помощью приложения). Входы АЦП являются дифференциальными, что обеспечивает максимальную универсальность применения данного блока. Наличие дифференциального входа на АЦП позволяет непосредственно подключать к аналоговым входам самые различные датчики (тензодатчики, измерительные мосты, датчики температуры, фотодатчики и т.п.). В блоке предусмотрено также переключение режима источника опорного напряжения от внутреннего опорного питания на 5 В или внешнего.

Разрядность АЦП составляет 16 бит, что подходит для большинства измерений, проводимых при испытаниях трибоузлов. Преобразование аналогового сигнала в цифровой код АЦП осуществляется по принципу  $\Sigma$ - $\Delta$  модуляции, что позволяет повысить помехоустойчивость измерений. Аналогово-цифровой преобразователь содержит встроенную систему подавления фона 50/60 Гц, индуктивно или кондуктивно наводимого в линиях связи измеряемого сигнала, благодаря чему блок может использоваться совместно с силовыми промышленными установками.

Три дискретных выхода блока позволяют управлять различными устройствами. При использовании выходов управления нужно применять усилители тока или оптронную гальваническую развязку, так как выходы управления являются слаботочными.

На рис. 2 представлена блок-схема устройства электронного блока с описанием цепей.

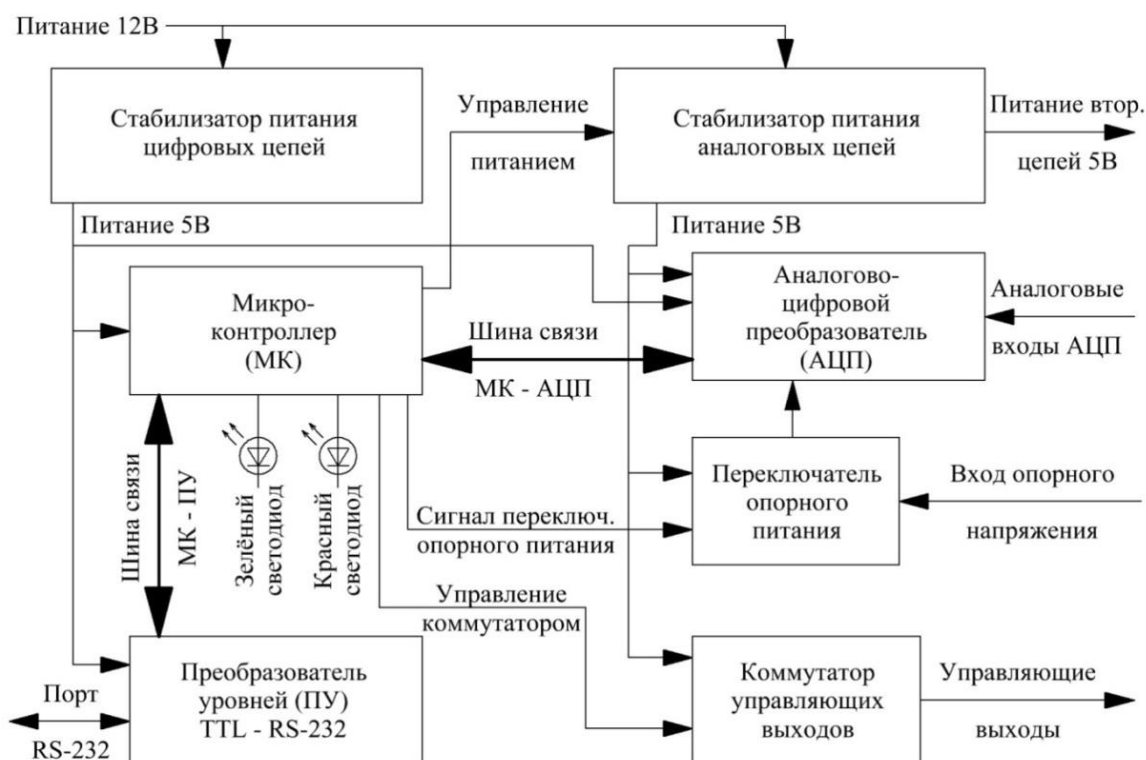


Рис. 2. Блок-схема измерительного устройства

Разработана обзорная версия специального приложения обработки данных. Приложение позволяет производить операции получения данных с контрольно-измерительного блока, производит необходимые вычисления с полученными данными, сохраняет результаты исследования на диск ЭВМ и осуществляет графическое отображение результатов.

Приложение построено с использованием среды .NET, хорошо зарекомендовавшей себя в системах обработки и организации баз данных. Промежуточным звеном между приложением и контрольно-измерительным блоком является драйвер устройства (блока), построенный в виде динамической библиотеки кода (.dll). Драйвер написан с использованием стандартных средств WinAPI ОС Windows на языке C++, что обеспечивает быстрдействие и оптимизированность программного кода.

При проектировании в приложение был заложен принцип потоков данных, заключающийся в построении динамических массивов данных, получаемых с внешних устройств измерительной системы или вычисляемых на основании первичных потоков данных. Такой принцип получения и хранения данных удобен как с точки зрения программного кода, так и для вычисления и отображения результатов исследования.

Возможности обзорной версии приложения:  
связь (синхронизация, получение данных измерения, управление функциями блока) с контрольно-измерительным блоком, осуществляемая через драйвер этого блока;  
сохранение полученных данных в потоки данных в памяти ЭВМ;  
создание дочерних потоков данных, выводимых из существующих;  
графическое отображение результатов исследования;  
удобная навигация при просмотре графиков результатов исследования;  
сохранение результатов исследования в энергонезависимую память ЭВМ в виде файлов с расширением «.dtf»;  
загрузка сохраненных на ЭВМ результатов исследования;  
сохранение графической информации результатов исследования в стандартных форматах векторных и растровых изображений.

Дальнейшее развитие приложения реализует множество других полезных функций, в том числе динамический анализ данных.

Графический интерфейс приложения организован по принципу многодокументного интерфейса MDI и состоит из главного окна приложения и дочерних функциональных окон, отображаемых в главном (рис. 3).

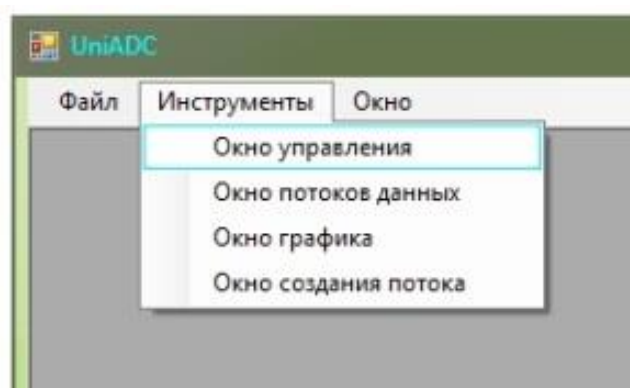


Рис. 3. Главное окно приложения

Меню главного окна содержит пункты, через которые осуществляется управление дочерними окнами. Для начала исследования необходимо открыть «Окно управления» в пункте меню приложения (см. рис. 3) и в нем осуществить подключение и настройки контрольно-измерительного блока. В окне управления на вкладке «Связь с устройством» производится поиск и синхронизация контрольно-измерительного блока (рис. 4).

После синхронизации блока с приложением можно осуществить настройку и запуск блока во вкладке «Ручное управление» как показано на рис. 5.

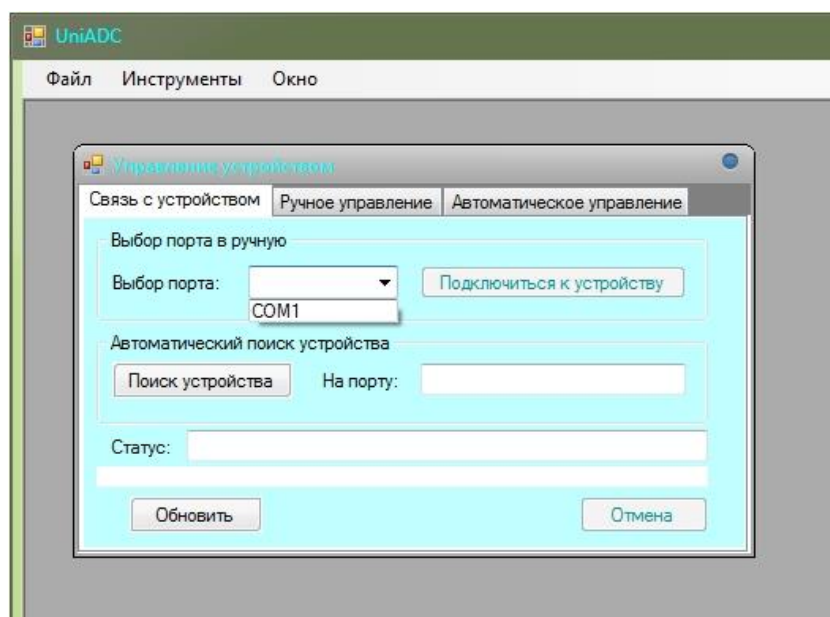


Рис. 4. Интерфейс окна управления контрольно-измерительным блоком, вкладка «Связь с устройством»

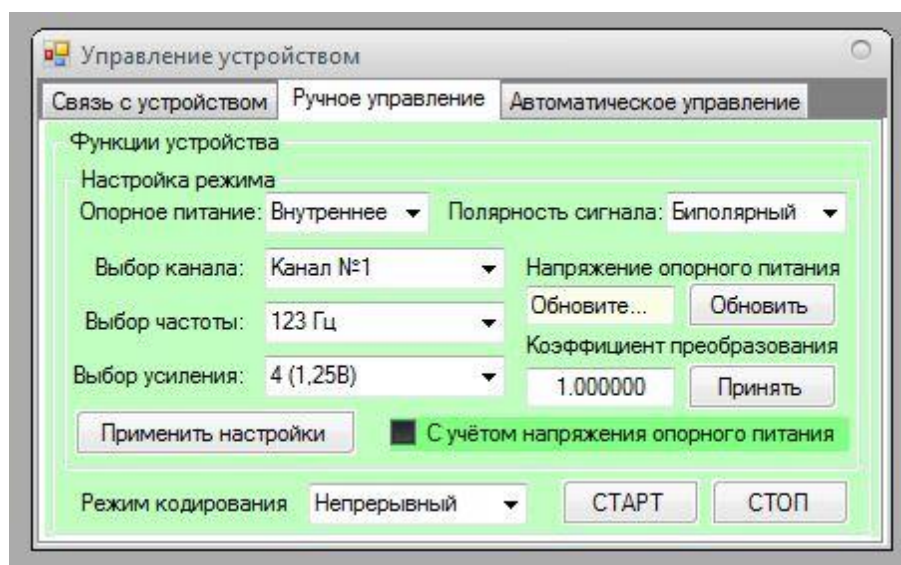


Рис. 5. Интерфейс окна управления контрольно-измерительным блоком, вкладка «Ручное управление»

Интерфейс вкладки «Автоматическое управление» и его функционал будет реализован в более поздних версиях приложения. Автоматическое управление позволит упростить процесс получения необходимых данных проводимого исследования, так как часть функций оператора приложения заменяется на автоматические функции приложения.

После запуска блока нажатием кнопки «Старт» создается первичный поток данных и начинается передача данных от блока в этот поток с выбранного канала с заданными параметрами. Созданный поток данных отобразится в окне «Потоки данных», где возможно управление данными, сохраняемыми в этом потоке, а также просмотр свойств, созданного потока данных (рис. 6).

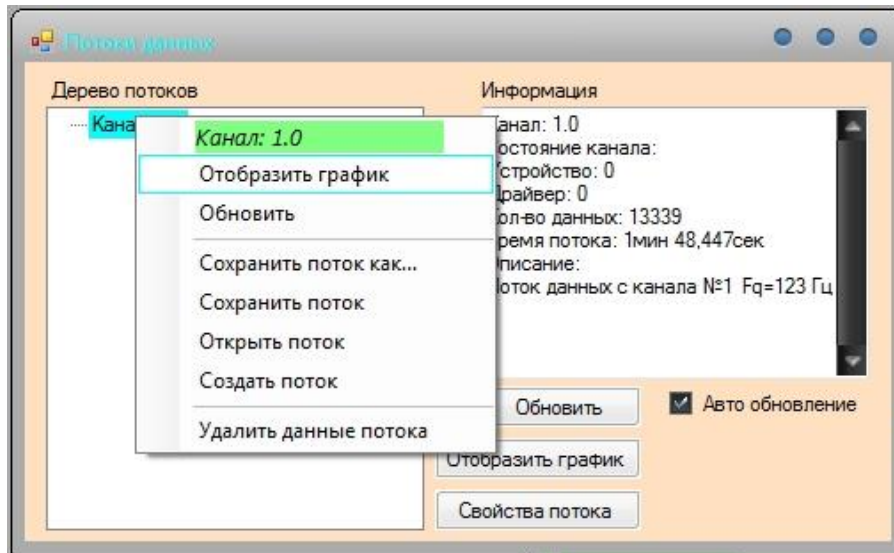


Рис. 6. Интерфейс окна «Потоки данных» с созданным потоком данных

Для просмотра информации, хранимой в потоке данных, нужно выбрать пункт контекстного меню «Отобразить график». Появится окно графического отображения выбранного потока данных, как показано на рис. 7.

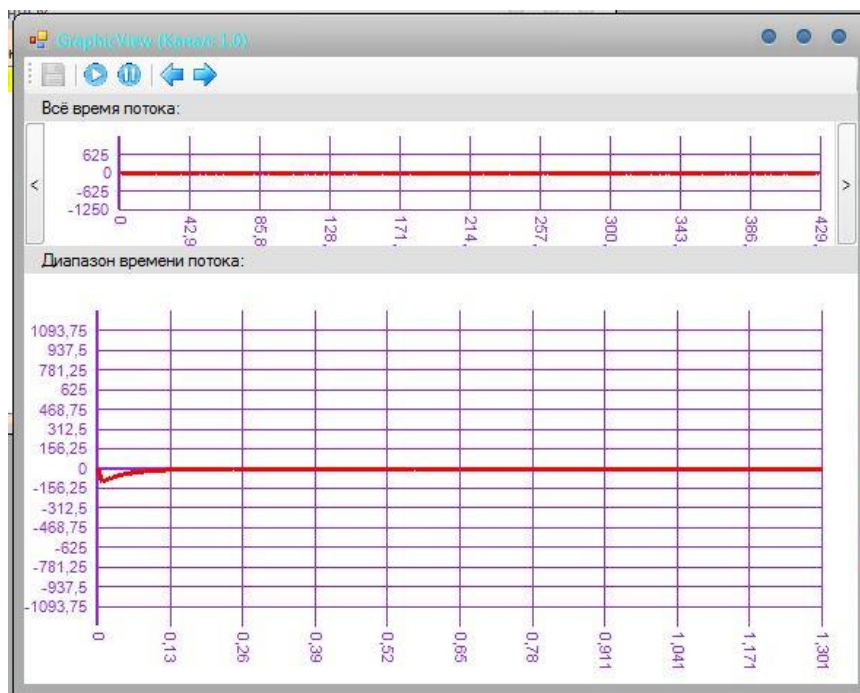


Рис. 7. Интерфейс окна «GraphicView» с графиком непрерывных данных, сохраненных в потоке данных



В окне графика есть как возможности навигации по всему потоку данных, так и по выделенному диапазону. Также возможно осуществлять масштабирование по осям графика и сохранять выделенный диапазон в графический файл.

Для создания нового потока данных производного (вычисляемого) из базового потока данных нужно в контекстном меню окна «Потоки данных» выбрать пункт «Создать поток». Откроется окно создания потока данных, интерфейс которого показан на рис. 8.

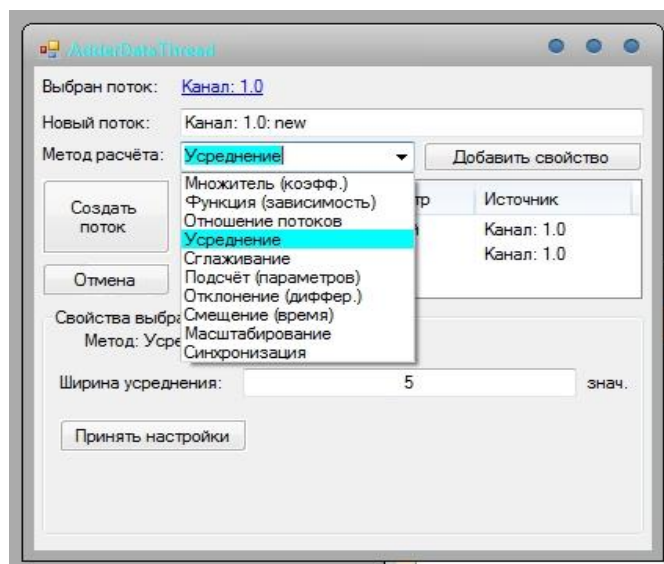


Рис. 8. Интерфейс окна «Создание потока данных»

В окне создания потока данных можно задать название нового потока, выбрать методы вычисления данных в раскрывающемся списке «Метод расчета». В нижней части окна расположена область, где осуществляется настройка методов вычисления данных нового потока. После создания нового потока данных он отобразится в дереве окна «Потоки данных» как дочерний элемент базового потока.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основной особенностью торфяных машин является сезонность их использования, а также относительно небольшой период эксплуатации, что обуславливает недопустимость длительных простоев машин в процессе добычи торфа. Несовершенство конструкции узлов трения и достаточно высокая металлоемкость агрегатов ТМ, а также тяжелые режимы эксплуатации требуют пристального внимания от инженерно-технического персонала машиностроительных предприятий с целью усовершенствования узлов трения, что позволит уменьшить затраты на ремонт и техническое обслуживание и тем самым обеспечить более высокую конкурентоспособность торфяной продукции. Модернизация узлов трения торфяных машин невозможна без использования самых современных технологий исследования. Созданная система мониторинга измеряемых параметров трибоузлов позволяет объективно оценивать состояние исследуемого объекта за счет комплексной обработки информации, получаемой в процессе исследования. Использование динамически изменяемой и гибкой системы дает возможность легко корректировать процесс исследования триботехнических узлов торфяных машин с целью получения необходимых параметров для анализа результатов.

Таким образом, более точная и достоверная информация, полученная в ходе анализа данных о состоянии конкретного трибоузла, позволяет качественно и быстро произвести оценку состояния исследуемого объекта и детально изучить трибологические процессы, протекающие на изучаемой поверхности трения. Использование модернизированных на основе глубоких исследований узлов трения может значительно увеличить ресурс трибоэлементов ТМ, что обеспечит снижение затрат на эксплуатацию и, следовательно, повысит эффективность использования машин.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Михайлов А.В., Иванов С.Л., Бондарев Ю.Ю. Состояние технического перевооружения машинно-тракторного парка торфодобывающих компаний // *Научно-технические ведомости СПбГПУ*. 2014. № 3 (202). С. 229–235.
2. Михайлов А.В., Иванов С.Л., Габов В.В. Формирование и эффективное использование машинного парка торфодобывающих компаний // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Серия «Геология. Нефтегазовое и горное дело»*. 2015. № 14. С. 82–91.
3. Alhuraish I., Robledo C., Kobi A. Assessment of lean manufacturing and six sigma operation with decision making based on the analytic hierarchy process // *IFAC-PapersOnLine*. 2016. V. 49. № 12. P. 59–64.
4. Болотов А.Н., Измайлов В.В., Новоселова М.В. Теоретические и экспериментальные исследования процессов в триботехнических системах: монография. Тверь: ТвГТУ, 2019. 164 с.
5. Pavlov V.G., Fishman R.I. Experimental and calculated estimate of wear rate of a rolling bearing lubricated with magnetic powder // *Journal of Friction and Wear*. 2002. V. 23. № 2. P. 49–54.
6. Доценко А.И., Буяновский И.А. Основы триботехники: учебник. М.: Инфра-М, 2014. 336 с.
7. Хрущов М.М. Трение, износ и микротвердость материалов: избранные работы (к 120-летию со дня рождения). М.: КРАСАНД, 2012. 512 с.
8. Горлов И.В., Болотов А.Н., Мешков В.В., Горлов А.И. Устройство для испытаний материалов для тяжело нагруженных узлов трения // *Механика и физика процессов на поверхности и в контакте твердых тел, деталей технологического и энергетического оборудования*. 2014. № 7. С. 81–84.

**Для цитирования:** Горлов И.В. Система анализа результатов испытаний на износ трибоэлементов торфяных машин // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки»*. 2021. № 3 (11). С. 52–62.

#### SYSTEM FOR RESULT ANALYSIS OF WEAR TEST FOR TRIBOELEMENTS OF PEAT MACHINES

I.V. GORLOV, Dr. Sc.

Tver State Technical University, 22, Af. Nikitin emb., 170026, Tver,  
Russian Federation, e-mail: gorloviv@yandex.ru

The article describes the system for the analysis of tribotechnical tests, which allows, on the basis of objective control data, to assess the state of the object under study on the basis of complex processing of information obtained in the process of research. The use of the

proposed dynamically variable information processing system makes it easy to correct the testing process of tribo assemblies in order to obtain the required parameters for analyzing the measurement results.

*Keywords:* peat machines, operation, modernization, reliability, resource, friction units, research.

## REFERENCES

1. Mikhaylov A.V., Ivanov S.L., Bondarev Yu.Yu. The state of technical re-equipment of the machine and tractor fleet of peat mining companies. *Nauchno-tekhnicheskiye vedomosti SPbGPU*. 2014. No 3 (202), pp. 229–235. (In Russian).

2. Mikhaylov A.V., Ivanov S.L., Gabov V.V. Formation and efficient use of the machine park of peat mining companies. *Vestnik Permskogo natsionalnogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Seriya "Geologiya. Neftegazovoye i gornoye delo"*. 2015. No 14, pp. 82–91. (In Russian).

3. Alhuraish I., Robledo C., Kobi A. Assessment of lean manufacturing and six sigma operation with decision making based on the analytic hierarchy process. *IFAC-PapersOnLine*. 2016. V. 49. No 12, pp. 59–64.

4. Bolotov A.N., Izmailov V.V., Novoselova M.V. Teoreticheskiye i eksperimental'nyye issledovaniya protsessov v tribotekhnicheskikh sistemakh: monografiya [Theoretical and experimental research of processes in tribotechnical systems: monograph]. Tver: TvSTU, 2019. 164 p.

5. Pavlov V.G., Fishman R.I. Experimental and calculated estimate of wear rate of a rolling bearing lubricated with magnetic powder. *Journal of Friction and Wear*. 2002. V. 23. No 2, pp. 49–54.

6. Dotsenko A.I., Buyanovskiy I.A. Osnovy tribotekhniki. Uchebnik [Basics of tribotechnics. Textbook]. Moscow: Infra-M, 2014. 336 p.

7. Khrushchov M.M. Treniye, iznos i mikrotvordost materialov: Izbrannyye raboty (k 120-letiyu so dnya rozhdeniya) [Friction, wear and microhardness of materials: Selected works (on the 120th anniversary of birth)]. Moscow: KRASAND, 2012. 512 p.

8. Gorlov I.V., Bolotov A.N., Meshkov V.V., Gorlov A.I. Material testing device for heavily loaded friction units. *Mekhanika i fizika protsessov na poverkhnosti i v kontakte tverdykh tel, detaley tekhnologicheskogo i energeticheskogo oborudovaniya*. 2014. No 7, pp. 81–84. (In Russian).

Поступила в редакцию/received: 02.04.2021; после рецензирования/revised: 26.05.2021;  
принята/accepted: 01.06.2021