

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ И РЕГИСТРАЦИИ ТЕПЛОМЕХАНИЧЕСКОГО СТЕНДА

*Батарев Сергей Васильевич, Гришин Алексей Валерьевич, Застылов Антон Александрович,
Зазулкин Михаил Валерьевич, Мансурова Оксана Николаевна (tilkinova@dep16.vniief.ru),
Сергеев Павел Александрович*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

Тепломеханический стенд предназначен для моделирования траекторных аэротермомеханических нагрузок, действующих на элементы конструкций гиперзвуковых летательных аппаратов.

Неотъемлемой частью стенда является система управления и регистрации. Система обеспечивает функционирование стенда в соответствии со специально разрабатываемой циклограммой (временной диаграммой) и реализует требуемый режим нагружения объекта испытания. Для этого она управляет электромагнитными клапанами, осуществляющими подачу газов в горелку, обеспечивает электроискровое зажигание газовой смеси, контролирует в процессе испытаний состояние клапанов и показания датчика пламени. В процессе работы стенда система выполняет регистрацию технологических параметров работы стенда и физических параметров, действующих на объект испытания.

В докладе подробно рассмотрены принцип действия системы управления и регистрации, ее строение, входящее в ее состав программное обеспечение и методика управления стендом с использованием программного обеспечения (ПО).

Ключевые слова: гиперзвуковой летательный аппарат, аэротермомеханические нагрузки, электромагнитные клапаны, газовая смесь, электроискровое зажигание, датчик пламени.

SYSTEM OF CONTROL AND REGISTRATION OF THERMO-MECHANICAL TEST BENCH

*Batarev Sergey Vasilievich, Grishin Alexey Valerievich, Zastylov Anton Aleksandrovich,
Zauzolkov Mikhail Valerievich, Mansurova Oksana Nikolaevna, Sergeev Pavel Aleksandrovich*

FSUE «RFNC-VNIIEF», Sarov Nizhny Novgorod region

The thermo-mechanical test bench (TMTB) is designed for modeling of trajectory aero thermo-mechanical loading on hypersonic aircraft elements.

The system of control and registration is an integral part of TMTB. It provides functioning of the test bench according to a specially developed cyclogram (t-diagram) and implements the demanded loading conditions. For this purpose, it operates with electromagnetic valves that control gas injection into the torch as well as provides spark ignition of the gas mixture and monitors a condition of valves and indication of a torch flame sensor during the experiment. At the test, the system registers TMBT technological and some of the thermo-technical parameters of unit under the test loading.

The paper describes in detail the operating principals of TMBT system of control, its structural scheme, software and a programming method of TMBT control.

Key words: hypersonic aircraft, aero thermo-mechanical loading, electromagnetic valves, gas mixture, spark ignition, torch flame sensor.

Введение

В настоящее время разрабатываются гиперзвуковые летательные аппараты (ЛА).

На ЛА при движении и особенно маневрировании в плотных слоях атмосферы воздействуют зна-

чительные механические и термические нагрузки. Поэтому процесс разработки таких ЛА требует моделирования и исследований воздействия плотных слоев атмосферы на элементы их конструкции. Для экспериментальных исследований стойкости гиперзвуковых ЛА к воздействию высокоскоростного по-

тока газов в РФЯЦ-ВНИИЭФ был создан тепломеханический стенд (ТМС).

ТМС предназначается для испытаний на аэротермомеханическую стойкость моделей и фрагментов ЛА воздействием высокоскоростного, высокотемпературного газового потока, создаваемого продуктами сгорания кислородо-водородной смеси на срезе профилированного сопла газовой горелки.

Тепломеханический стенд

ТМС состоит из газовой системы, включающей исполнительный блок с камерой сгорания и систему хранения и подачи газов, системы управления и регистрации, а также комплекса вспомогательных систем. Структурная схема ТМС приведена на рис. 1.

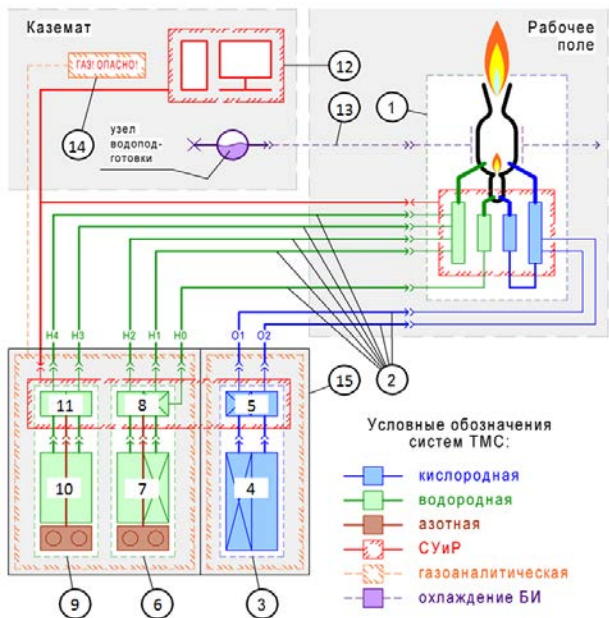


Рис. 1. Структурная схема ТМС: 1 – блок исполнительный (БИ), 2 – газовые магистрали, 3 – система выдачи кислорода, где 4 – рампа кислородная, 5 – распределительная стойка, 6 – основная система выдачи водорода, где 7 – рампа водородно-азотная, 8 – основная распределительная стойка, 9 – дополнительная система выдачи водорода, где 10 – рампа водородно-азотная, 11 – дополнительная распределительная стойка, 12 – система управления и регистрации (СУиР ТМС), 13 – системы охлаждения БИ, 14 – система контроля загазованности, 15 – рамповая

Газовая система в чистом виде не способна обеспечивать выполнение стендом своей основной функции – создания газового потока для аэротермомеханического нагружения моделей и фрагментов ЛА. Для управления формированием скоростного, высокотемпературного газового потока, а также для контроля и регистрации основных и дополнительных параметров служит СУиР ТМС.

Основными задачами СУиР являются:

– управление подачей рабочих газов (кислорода и водорода) в камеру сгорания исполнительного блока посредством открытия отсечных клапанов по

заданной циклограмме зажигания образуемой при этом смеси,

– удаление рабочих газов из газовой магистрали посредством заполнения магистрали инертным газом (азотом),

– контроль открытия/закрытия отсечных клапанов,

– контроль давления в различных точках газовой магистрали,

– контроль наличия/отсутствия пламени в камере сгорания,

– обеспечение штатного или преждевременного прекращения подачи рабочих газов в камеру сгорания (автоматически по циклограмме или по команде оператора) посредством закрытия отсечных клапанов,

– регистрация в единой шкале времени эксперимента ряда основных (давление в газовой струе и температура на объекте испытания) и дополнительных технологических (давление в газовой системе, состояния отсечных клапанов (открыт/закрыт) и т. п.) параметров.

Все оборудование СУиР можно разделить на две группы:

- 1) управляющее и регистрирующее оборудование;
- 2) исполнительное и измерительное оборудование.

Управляющее и регистрирующее оборудование СУиР, сконструированное в коммуникационной стойке, а также пульт оператора стенда, представляющий собой автоматизированное рабочее место с программным интерфейсом, расположено в каземате (в пультовой).

В качестве основного управляющего и регистрирующего оборудования СУиР используются адаптеры дискретного ввода-вывода и аналогового ввода информации.

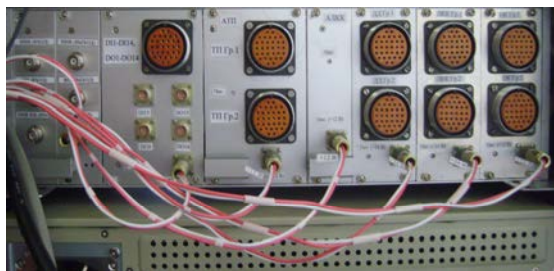
Для управления вводом/выводом дискретной информации используется 128-канальный (64 входных и 64 выходных канала) РСІ-адаптер дискретного ввода-вывода с гальванической изоляцией.

Управление отсечными клапанами осуществляется с использованием узла подключения отсечных клапанов, который включает РСІ-адаптер дискретного ввода-вывода, модуль реле и клеммники для кроссировки линий. Управляющие сигналы с РСІ-адаптера дискретного ввода-вывода поступают на входы модуля реле и производят замыкание соответствующих выходных контактов. Замыкание контактов реле, в свою очередь, обеспечивает подачу электропитания на соответствующий отсечной клапан.

В качестве адаптера ввода аналоговых сигналов с датчиков используется высокопроизводительный 64-канальный многофункциональный РСІ-адаптер сбора данных. Он обеспечивает высокую скорость передачи данных (более 40 Мб/с) при невысокой загрузке процессора (максимальная общая частота дискретизации составляет 3 МГц).

Для обеспечения ввода, преобразования и согласования входных и выходных сигналов используются модули и адаптеры СУиР (модуль запуска, адаптер ввода-вывода цифровых сигналов, адаптер ввода сигналов термодпар, адаптер формирования сигналов с дискретных датчиков), установленные в единый

крейт (рис. 2). Дополнительно для связи оборудования, подключения измерительных и управляющих линий используются платы клеммников, клеммные колодки, переходные кабели, барьеры искрозащиты.



а



б

Рис. 2. Крейт с модулями и адаптерами СУиР:
а – задняя панель крейта, б – передняя панель крейта

Исполнительное и измерительное оборудование СУиР расположено в рамповой и на рабочем поле (на исполнительном блоке). В качестве исполнительного оборудования СУиР применяются электромагнитные отсечные клапаны (рис. 3), используемые для управления подачей газов в камеру сгорания исполнительного блока, и система зажигания газовой смеси, установленная на исполнительном блоке. Связь исполнительного и измерительного оборудования с управляющим и регистрирующим осуществляется с помощью системы жгутов.



Рис. 3. Электромагнитный отсечной клапан

Отсечные клапаны оснащены двумя магнитными датчиками, предназначенными для определения

состояния клапана (открыт/закрыт) в ходе работы стенда. Для воспламенения газовой смеси в камере сгорания в процессе работы стенда по циклограмме, используется система зажигания электроискрового типа. Система зажигания включает в себя модуль зажигания, генератор тактовых импульсов, высоковольтные провода и свечи зажигания, установленные в запальной горелке камеры сгорания. Запуск процесса искрообразования осуществляется в определенный циклограммой момент времени, частота формирования искровых разрядов может варьироваться в достаточно широких пределах для обеспечения надежного воспламенения газовой смеси.

СУиР ТМС в процессе работы стенда позволяет регистрировать давление в критических точках газовых магистралей и температуру на объекте испытания. Для этих целей используются средства измерения утвержденных типов: для измерения давления – датчики МИДА-ДИ-13П-Ех-01 [1], для измерения температуры – термодпары типов R, S, B, J, T, E, K, N, L, M, в соответствии с ГОСТ Р 8.858-2001 [2].

Большое внимание при реализации СУиР и стенда в целом было уделено вопросам обеспечения безопасной эксплуатации оборудования.

Для контроля наличия пламени в камере сгорания в процессе работы стенда используется сигнализатор погасания пламени СПП1.01-04 «Фламинго» [3] с датчиком ДП1.04м УФ. Датчик регистрирует переменную составляющую пламени в ультрафиолетовом диапазоне спектра излучения пламени (0,22–0,38 мкм). Информация от датчика передается на блок сигнализации по кабелю связи кодовым сигналом. При погасании пламени блок сигнализации информирует об этом СУиР путем замыкания соответствующего внутреннего релейного контакта.

Для обеспечения удаленного наблюдения за процессами подготовки и проведения испытаний используется система телевизионного наблюдения, включающая несколько IP-камер с разрешением FullHD (1920x1080), размещенных в помещениях рамповой и в непосредственной близости с исполнительным блоком.

Наличие в составе стенда баллонов с легковоспламеняющимся газом (водородом) и окислителем (кислородом) определяет необходимость соблюдения в отношении электрооборудования СУиР, находящегося во взрывоопасной зоне, то есть имеющего контакт с газом или находящегося вблизи с источниками газа, требований, обеспечивающих его безопасное функционирование в отношении риска взрыва в соответствии с ГОСТ 30852.0-2002 [4], ГОСТ 30852.1-2002 [5], ГОСТ 30852.10-2002 [6].

Взрывобезопасность СУиР достигается за счет применения в ее составе электрооборудования во взрывозащищенном исполнении и соблюдения дополнительных мер взрывозащиты. К числу таких мер относится подключение оборудования с видом взрывозащиты «искробезопасная электрическая цепь (i)» (концевых выключателей отсечных клапанов, датчиков давления, датчика погасания пламени) через барьеры искрозащиты, расположенные вне взрыво-

опасной зоны. А также прокладка цепей питания отсечных клапанов с учетом требований вида взрывозащиты «взрывонепроницаемая оболочка (d)» – то есть помещение их в специальные прочные оболочки, способные выдержать внутренний взрыв без деформации и разрыва.

Кроме того, в помещениях рамповой осуществляется контроль концентрации водорода и кислорода с использованием датчиков системы контроля загазованности воздуха.

Управление стендом при проведении испытаний и подготовке его к испытаниям, контроль состояния исполнительного оборудования и показаний датчиков стенда осуществляется оператором СУиР. Рабочее место оператора СУиР показано на рис. 4.

При подготовке стенда к испытаниям управление исполнительными устройствами осуществляется в так называемом «ручном» режиме, когда команды на исполнительные устройства поступают индивидуально для каждого устройства по команде оператора. Одновременно с управлением исполнительными устройствами оператор осуществляет контроль основных параметров работы стенда (состояние отсечных клапанов, давление в различных точках газовой системы).



Рис. 4. Рабочее место оператора СУиР

В ходе проведения испытаний управление исполнительными устройствами стенда осуществляется в «автоматическом» режиме по заданной циклограмме. Циклограмма работы стенда формируется оператором с учетом необходимой длительности работы стенда в процессе испытаний, количества задействованного исполнительного оборудования газовых модулей и необходимой разновременности его задействования. Загрузка циклограммы в программное обеспечение осуществляется непосредственно перед проведением испытаний. В программном обеспечении предусмотрена возможность графического отображения загруженной циклограммы для ее сравнения с исходными данными.

Взаимодействие оператора с СУиР в основном осуществляется через интерфейс ее программного обеспечения (ПО). В связи с этим к ПО в целом и особенно к ее интерфейсу предъявляются достаточно высокие требования по удобству, функциональности и безопасности.

Программное обеспечение СУиР реализовано в виде одной многофункциональной программы, которая содержит в себе функции управления стендом, контроля его состояния (с помощью мониторинга показаний датчиков и сигналов обратной связи с исполнительных устройств) и регистрации измерительной информации со штатных датчиков СУиР.

Структура программного обеспечения СУиР ТМС содержит набор программных модулей, связи между ними, а также потоки данных между модулями (рис. 5).

Центральный модуль программы занимает основное место в структуре ПО. Он содержит данные, как постоянные, так и изменяемые пользователем при выполнении программы, а также управляет работой всего приложения, в частности вызовом и исполнением всех остальных модулей.

Модуль конфигурирования каналов ввода/вывода предназначается для управления рабочими каналами регистрации аналоговой информации и рабочими каналами ввода/вывода дискретных сигналов, то есть для определения (изменения) количества рабочих каналов каждого адаптера ввода/вывода информации (как аналоговых, так и дискретных) и количества самих адаптеров, а также выбора каналов регистрации, задействованных в конкретном испытании.

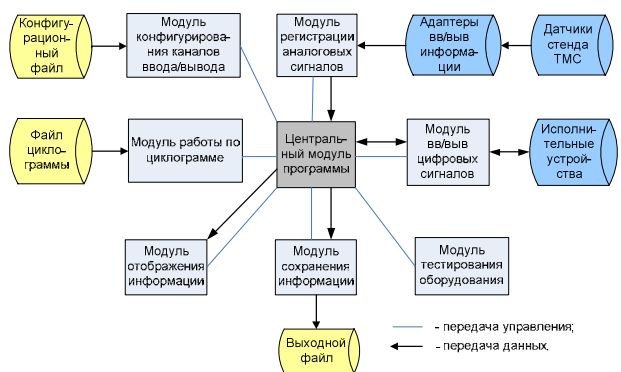


Рис. 5. Структура ПО СУиР ТМС

Модуль регистрации аналоговых сигналов предназначен для управления процессом регистрации сигналов и записи на жесткий диск ПЭВМ измерительной информации со штатных датчиков СУиР. Регистрация информации осуществляется с датчиков, подключенных к рабочим каналам СУиР, задействованным в конкретном опыте.

Модуль ввода/вывода цифровых сигналов предназначен для управления процессом подачи управляющих дискретных сигналов на исполнительные устройства и регистрации ответных (дискретных) сигналов исполнительных устройств.

Модуль отображения информации предназначен для визуализации на экране монитора (в специальном окне просмотра) аналоговой информации, получаемой с датчиков СУиР (графики зависимостей).

Модуль тестирования оборудования (на наличие неисправностей) предназначен для проверки систе-

мы управления и регистрации стэнда в автоматическом режиме на наличие неисправностей, а также контроля состояния и правильности функционирования стэнда (состояние отсечных клапанов, наличие/отсутствие сигналов с датчиков давления). Процедура тестирования включает опрос состояния исполнительного оборудования (по линиям обратной связи) и датчиков СУиР, анализ результатов тестирования, а также формирование и вывод на экран дисплея отчета о состоянии оборудования стэнда. Выявляемые в ходе тестирования неисправности оборудования (с указанием конкретных узлов) и показания датчиков, вышедшие за допустимый диапазон, будут перечисляться в информационном окне программы.

Модуль работы по циклограмме предназначен для управления работой стэнда в автоматическом режиме при проведении огневых испытаний и обеспечивает следующие функции:

- подачу в камеру сгорания кислородо-водородной смеси (посредством программного открытия/закрытия отсечных клапанов стэнда),
- запуск системы зажигания стэнда,
- выдачу (при необходимости) внешних управляющих и синхронизирующих сигналов,
- контроль состояния ответных сигналов и регистрацию измерительной информации со штатных датчиков стэнда.

Модуль сохранения информации предназначен для записи измерительной информации, зарегистрированной в процессе испытаний, в выходной файл.

При разработке ПО большое внимание было уделено его интерфейсу и вопросам реализации аварийных

режимов завершения циклограммы. От качества интерфейса зависит, насколько успешно оператор будет взаимодействовать с СУиР. Основным требованием, предъявляемым к интерфейсу ПО автоматизированных систем, является требование его максимальной интуитивной понятности и удобства для оператора.

Мнемосхема стэнда, реализованная в программном обеспечении СУиР ТМС, показана на рис. 6. Она позволяет осуществлять управление исполнительным оборудованием стэнда, в режиме реального времени контролировать состояние отсечных клапанов и уровни давления в критических точках газовой системы. При разработке мнемосхемы учитывались максимальное соответствие расположения ее элементов реальной компоновке оборудования стэнда, а также простота восприятия мнемосхемы оператором.

При разработке модуля работы по циклограмме реализованы возможности загрузки циклограммы из внешнего файла, отображения и анализа циклограммы, позволяющие оператору проверить параметры загруженной циклограммы и ее соответствие исходным данным (рис. 7). Кроме того, в модуле реализована возможность аварийного завершения циклограммы на любом этапе ее выполнения по команде оператора. То есть, после получения программным обеспечением команды аварийной остановки циклограммы оно обеспечивает ее принудительный переход к заключительным циклам для обеспечения завершения работы стэнда по заранее заданной последовательности операций, обеспечивающей максимальную безопасность.

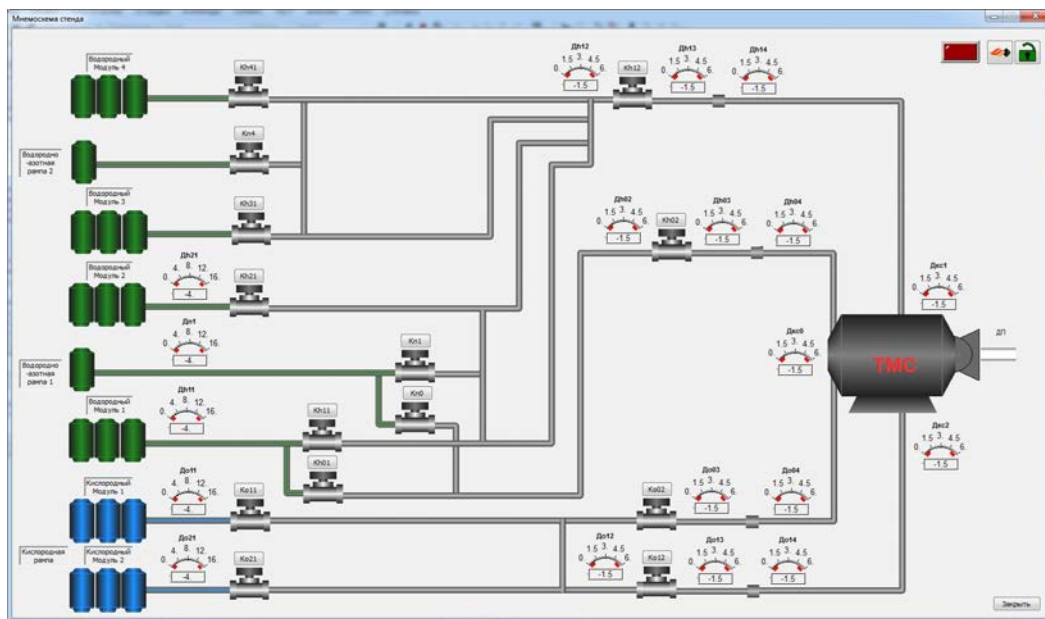


Рис. 6. Мнемосхема стэнда

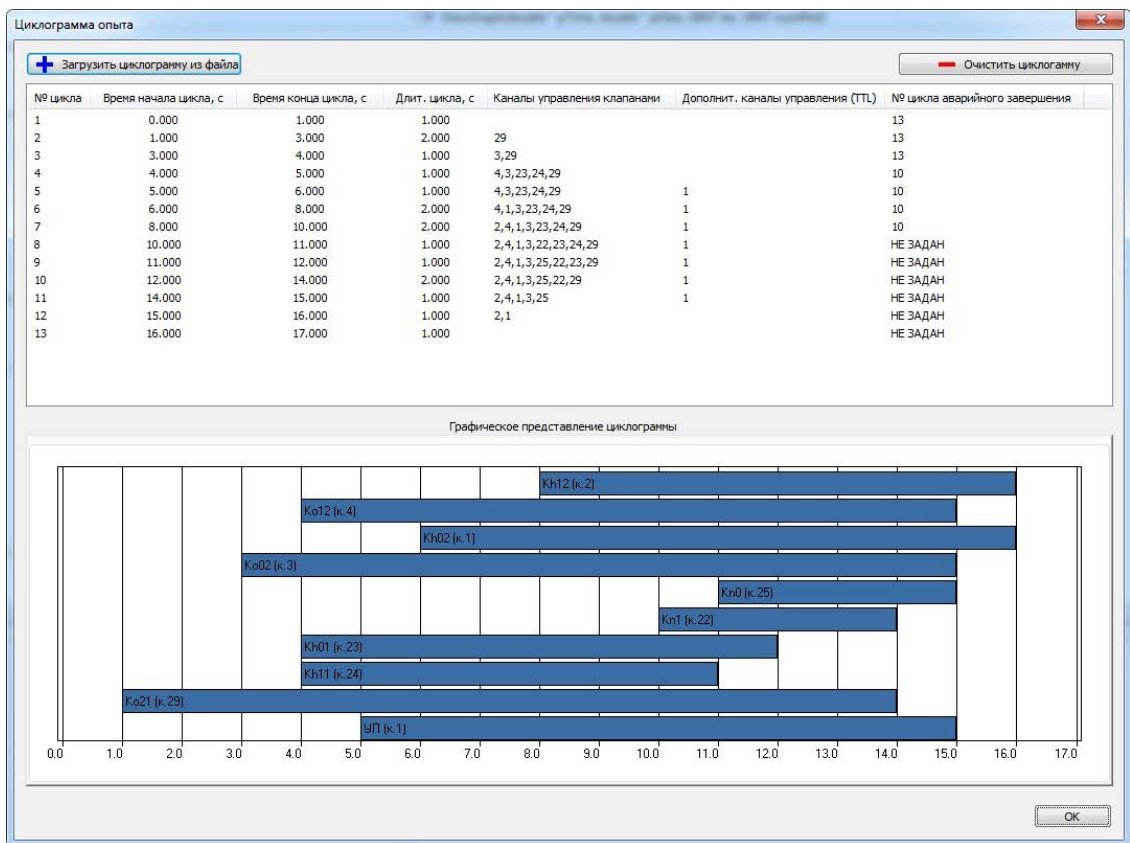


Рис. 7. Окно загрузки циклограммы

Заключение

В рамках ввода ТМС в опытную эксплуатацию успешно проведена поэтапная экспериментальная отработка СУиР, включающая пуски стенда по единой тестовой циклограмме без газов, с применением инертных газов, а затем рабочих газов и зажиганием образующейся в процессе работы стенда газовой смеси. Результаты отработки СУиР показали ее работоспособность и способность обеспечивать требуемые режимы работы стенда.

Список литературы

1. МДВГ.406233.033РЭ. Датчик давления МИДА-13П. Руководство по эксплуатации.

2. ГОСТ Р 8.858-2001. Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Термомпары. Номинальные статические характеристики преобразования.

3. РУТЕ.468264.004.2РЭ. Сигнализатор погасания пламени СПП1.01-04 "Фламинго".

4. ГОСТ 30852.0-2002. Электрооборудование взрывозащищенное. Часть 0. Общие требования.

5. ГОСТ 30852.1-2002. Электрооборудование взрывозащищенное. Часть 1. Взрывозащита вида «взрывонепроницаемая оболочка».

6. ГОСТ 30852.10-2006. Электрооборудование взрывозащищенное. Часть 11. Искробезопасная электрическая цепь «i».