

## АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

В.С. Куренков, А.В. Чушкин, А.Д. Ладецкий (ФГУП «ФЦДТ «Союз»)

*Рассмотрена структура современного автоматизированного комплекса для исследований физико-механических свойств высокоэнергетических материалов. Показано, что предложенные конструктивные решения и программно-технические средства позволяют максимально автоматизировать процесс испытаний, снизить погрешность результатов, повысить производительность и сократить расходы на испытания.*

*Ключевые слова: физико-механические характеристики, автоматизированный комплекс, испытательный стенд, система термостатирования, автоматизированное рабочее место, обработка результатов.*

### Введение

Физико-механические характеристики (ФМХ) высокоэнергетических материалов (ВЭМ) являются одними из основных в комплексе характеристик, обеспечивающих надежность и эффективность применения изделий, работающих на их основе. ВЭМ должны иметь уровень деформационно-прочностных свойств, необходимый для применения их в конкретной системе с обеспечением некоторого запаса прочности [1], а также сохранять свои физико-механические свойства в пределах требуемых норм прочности. Помимо этого, по результатам анализа диаграммы растяжения материала проводятся различные исследования свойств ВЭМ. Например, экспериментальное определение числа дефектов, возникающих в ВЭМ, или изменение скорости горения ВЭМ при его растяжении [2].

Так как ФМХ ВЭМ получают экспериментальным путем, то необходимо получать максимально достоверные результаты ФМХ при испытаниях образцов ВЭМ. Испытания проводятся на испытательном оборудовании и по методикам в соответствии с отраслевыми стандартами.

Существующая технология, применяющаяся на всех предприятиях отрасли, основана на методике и принципах определения ФМХ, разработанных более 40 лет назад. В связи с созданием и производством новых композиций ВЭМ для изделий различного назначения, в том числе работающих в широком диапазоне тем-

ператур  $-70...60^{\circ}\text{C}$ , встал вопрос о совершенствовании технологического оборудования и систем управления для проведения физико-механических испытаний.

В условиях большого объема испытаний на определение ФМХ необходимо максимально автоматизировать процесс определения параметров в условиях оперативного проведения серии испытаний образцов ВЭМ и обработки результатов в автоматическом режиме.

### Описание проблемы

Существующие методы определения ФМХ не удовлетворяют современным требованиям по точности определения параметров и не учитывают множество факторов, влияющих на достоверность выдаваемых результатов, таких как погрешности отсчета показаний используемых приборов, температурная и скоростная зависимости характеристик ВЭМ, влияние влажности окружающей среды, погрешности формы образца, отклонение от оси растяжения и др.

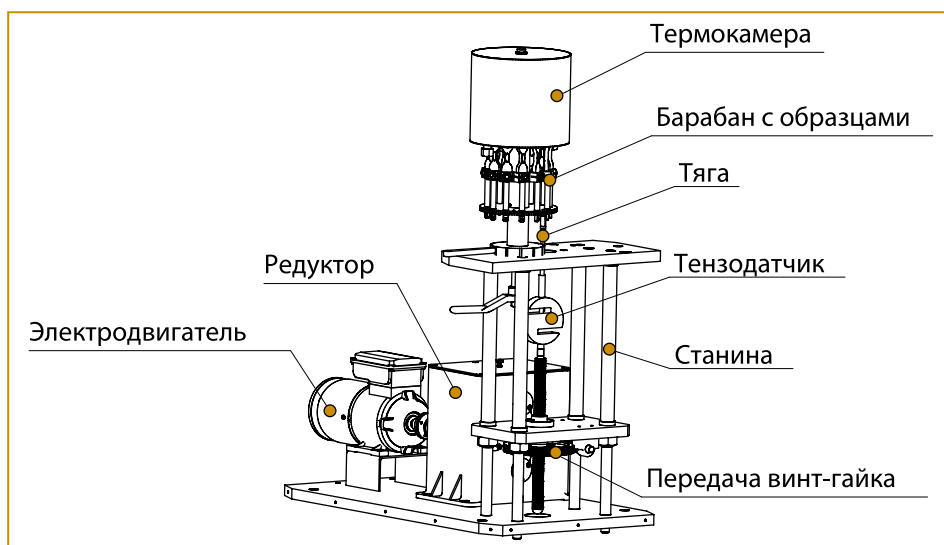


Рис. 1. Общий вид установки ИУ-100

Применяемые в настоящее время технические средства и средства автоматизации не отвечают современным требованиям и имеют целый ряд недостатков:

- низкая точность измерений;
- ручное управление процессом испытаний;
- ручная обработка результатов;
- отсутствие возможности применения современных автоматизированных систем управления и контроля на существующем оборудовании;
- высокий износ испытательных машин;
- низкая надежность оборудования;
- низкая производительность труда;
- существенные затраты на расходные материалы.

Основой испытательных комплексов нынешнего поколения на предприятиях отрасли является разрывная машина ИУ-100 (рис. 1).

Существующая машина имеет сложную конструкцию и не проста в эксплуатации. В частности, редуктор (рис. 2) имеет сложную кинематическую конфигурацию, шестерни выполнены из полимерных материалов и регулярно выходят из строя.

Система измерения, включающая датчик измерения усилий (типа ДД-10) и регистрирующий самопишущий прибор (типа КСТ) морально и физически устарели. Используемые средства измерений сняты с серийного производства, а применение современных первичных преобразователей затруднено ввиду конструктивных особенностей установки. Вывод определяемых данных выполняется посредством регистри-

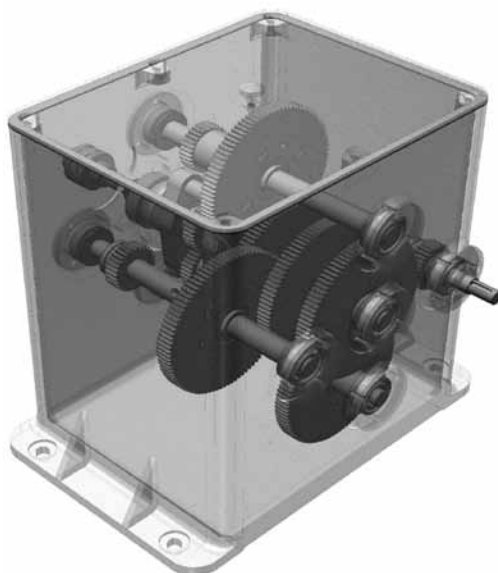


Рис. 2. Редуктор ИУ-100

рующего прибора с записью параметров на диаграммную ленту, не имеющего системы обработки параметров. В связи с этим требуется ручной расчет ФМХ для получения окончательных результатов.

Помимо этого, анализ измерений с применяемых датчиков усилий показывает, что полезный сигнал сильно «зашумлен» и без предварительного сглаживания не может быть использован для определения ФМХ. На кривой в первом приближении достаточно отчетливо проявляется близкая к синусоидальной форме помеха с постоянной частотой и различными амплитудами. С высокой степенью достоверности можно утверждать, что основным источником этих помех является механическая система, в частности, редуктор. Основная гармоника помех близка к частоте вращения вала редуктора. Анализ рынка испытательного оборудования показал, что общепромышленные решения (Shimadzu, Instron, AGS-X STD, Метротест и др.) способны проводить испытания только одного образца и при одних климатических условиях. Применение климатического оборудования на данных разрывных машинах значительно повышает стоимость установки. При испытаниях на максимальные температуры после установки следующего образца из серии испытаний проходит длительное время для восстановления температурного баланса внутри камеры. К тому же данное оборудование предназначено для проведения испытаний типовых материалов (металл, пластик, резина и т.д.) и не может учитывать специфических свойств некоторых ВЭМ.

В связи с вышеописанным, специалистами ФГУП «ФЦДТ «Союз» разработан проект современного автоматизированного комплекса для проведения физико-механических испытаний.

Структурная схема автоматизированного комплекса приведена на рис. 3.

Автоматизированный комплекс включает: испытательный стенд, климатическое оборудование, автоматизированную систему управления, автоматизированную измерительно-вычислительную систему, АРМ оператора.

#### Испытательный стенд

Особенностью конструкции испытательного стенда (рис. 4) является применение мехатронных моду-



Рис. 3. Структурная схема автоматизированного комплекса

лей в качестве приводных и вспомогательных механизмов. В частности, основной привод машины, совершающий возвратно-поступательное движение, состоит из шарико-винтовой передачи и серводвигателя, главными достоинствами которых является высокая точность (0,5...1%) поддержания скоростных и силовых режимов. Кроме того, приводной механизм обладает хорошей реакцией на управляющее воздействие.

Несущие элементы конструкции выполнены из станочных алюминиевых профилей, обладающих высокой прочностью и легкостью.

Для выбора привода машины был проанализирован широкий спектр современных технических устройств, обеспечивающих заданные требования для проведения испытаний. В результате принято решение использовать электромеханический цилиндр с серводвигателем, так как возможности таких устройств позволяют при различных нагрузках с требуемой точностью обеспечить скорость перемещения штока. Для разрабатываемой установки выбран электромеханический цилиндр ESBF-BS-40-300-5P фирмы Festo.

Основой главного привода является электромеханический цилиндр — механический линейный привод со штоком.

Привод электромеханического цилиндра включает соединительную муфту, планетарный редуктор с передаточным отношением 1:20 и электродинамический бесщеточный сервомотор Festo EMMS-AS-55-M-LS-TSB с постоянным возбуждением. Сервомотор имеет цифровой многооборотный датчик измерения поворота.

Данная конфигурация позволяет производить испытания в требуемом диапазоне скоростных режимов без применения ручного переключения скоростей.

Еще одной особенностью данной конструкции является применение пневматического манипулятора для захвата образцов, установленного на оси главного привода, что позволяет минимизировать число ручных операций.

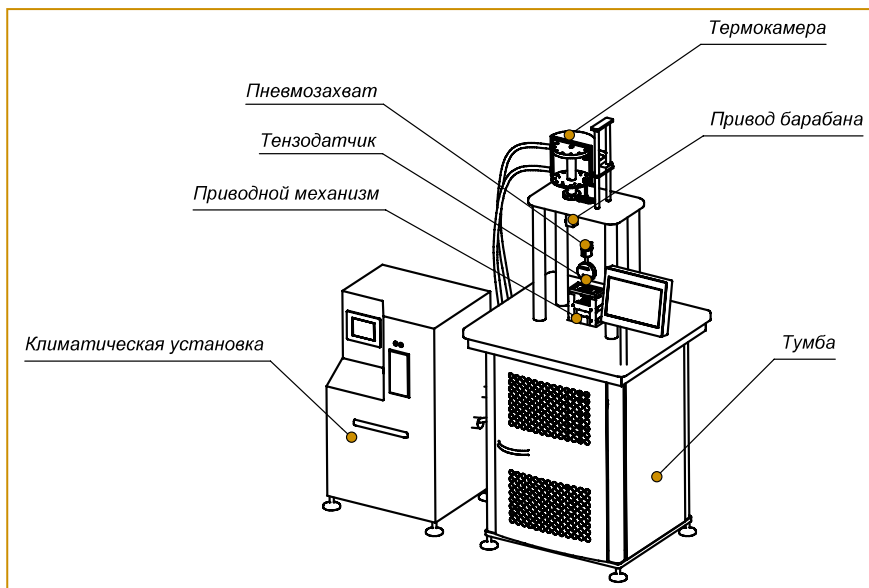


Рис. 4. Испытательный стенд

С целью автоматизации операций по смене образцов ВЭМ в процессе испытаний на конце штока электромеханического цилиндра установлен механический захват, а барабан с установленными образцами оснащен поворотным приводом, реализованным на основе шагового сервомотора, обеспечивающего точный поворот вала на заданный угол с требуемой точностью (рис. 5).

Приводной механизм барабана, как и основной приводной механизм, обладает высокой степенью реакции на управляющее воздействие и дает минимальную погрешность позиционирования вала ( $\leq 2$  мкм).

#### Система термостатирования

Для обеспечения проведения испытаний образцов ВЭМ в широком температурном диапазоне в состав автоматизированного комплекса входит типовая установка с замкнутой системой снабжения тепловым и холодильным агентом. Это позволит избежать дополнительных затрат, связанных с применением большого количества азота, который используется в существующих комплексах для создания отрицательных температур. Схема системы термостатирования образцов представлена на рис. 6.

#### Основные технические характеристики электромеханического цилиндра Festo ESBF-BS-40-300-5P

|   |                  |
|---|------------------|
| Максимальное усилие подачи, Н.....      | 1100             |
| Шаг винтовой передачи, мм/об. ....      | 5                |
| Ход, мм .....                           | 300              |
| Максимальная скорость подачи, м/с ..... | 1,34             |
| Опрос положений .....                   | датчик положения |

#### Основные технические данные сервомотора Festo EMMS-AS-55-M-LS-TSB

|   |      |
|---|------|
| Номинальное напряжение, В.....              | =360 |
| Номинальный ток, А.....                     | 5    |
| Номинальный момент, Н*м .....               | 0,68 |
| Номинальная скорость вращения, об./мин..... | 6600 |
| Максимальная скорость вращения, об./мин.... | 7730 |
| Тормоз                                      |      |
| Рабочее напряжение, В.....                  | =24  |
| Момент удержания, Н*м .....                 | 0,8  |

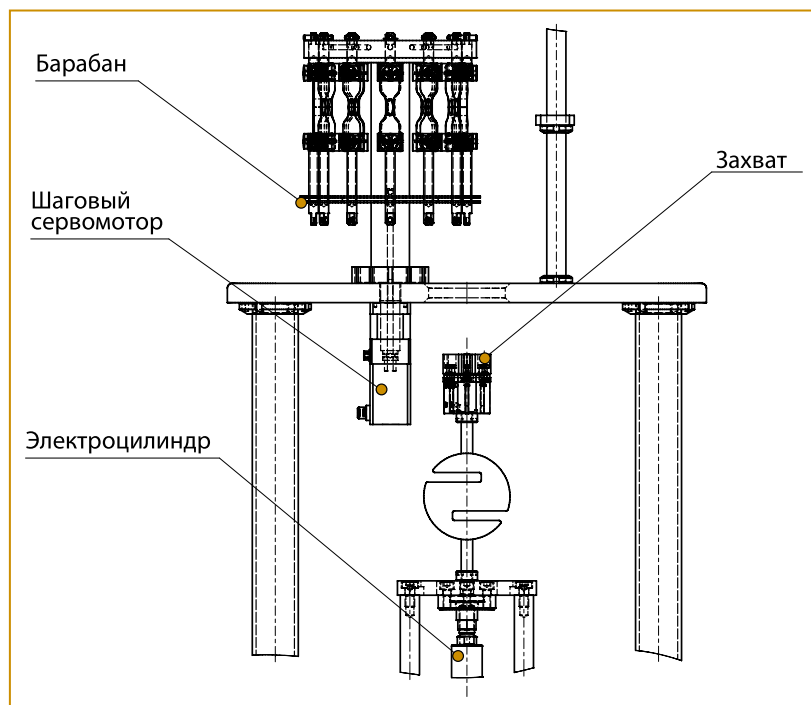


Рис. 5. Схема применения шагового серводвигателя и механического захвата для автоматизации процесса испытаний

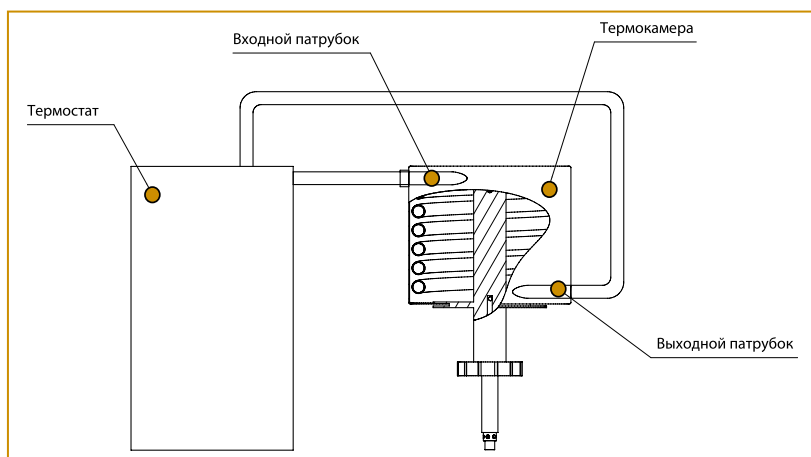


Рис. 6. Схема системы термостатирования образцов ВЭМ

Для снабжения тепловым и холодильным агентом термокамеры используется термостатирующая установка Huber Unistat 705.

#### Технические характеристики Huber Unistat 705

|                                      |                            |
|--------------------------------------|----------------------------|
| Диапазон температур, °C              | .....-75...250             |
| Постоянство температуры, °C          | .....±0,01                 |
| Мощность нагрева, кВт                | .....1,5/3,0               |
| Мощность охлаждения, кВт             | .....0,3...0,65            |
| Хладагент                            | .....R507 (0,4 kg)         |
| Объем заполнения мин., л             | .....1,5                   |
| Объем заполнения расширит. сосуда, л | .....2,8                   |
| Цифровой интерфейс                   | .....RS-232, Ethernet, USB |
| Электропитание                       | .....230В 1~ 50Гц          |

Для повышения скорости выхода температуры на заданный режим работы разработана новая конструкция термокамеры. Термокамера имеет конструкцию с встроенным медным змеевиком, что обеспечивает лучший теплообмен. Площадь теплообмена увеличена с 85,5 мм<sup>2</sup> до 172 мм<sup>2</sup> по сравнению с термокамерой, используемой в паре с машиной ИУ-100.

Для подтверждения повышения скорости выхода температуры на режим термостатирования при использовании новой конструкции термокамеры проведено математическое моделирование. Результаты показывают, что температура при новой конструкции термокамеры быстрее выходит на заданный режим более чем в 2 раза.

Заданная температура образцов ВЭМ контролируется набором датчиков температуры, установленных по объему термокамеры. По показаниям датчиков происходит регулирование температуры в термостатирующей установке.

#### Система измерения и управления

В качестве устройств передачи, сбора и регистрации данных применяется кейтовая система сбора данных и управления с интерфейсами USB 2.0 и Ethernet (TCP/IP) фирмы Л-Кард. Для регистрации параметров и управления некоторыми исполнительными механизмами и климатическим оборудованием применяется набор специализированных модулей и комплект измерительных преобразователей отечественного производства.

Система измерений стенда автоматизированного комплекса предназначена для измерения и регистрации различных параметров в процессе проведения испытаний и включает подсистемы измерения напряжений и деформаций, линейных перемещений, усилий, температуры.

Измерительная система стенда обеспечивает высокую точность измерений. Инструментальная погрешность измерения перемещений ≤0,3%, измерения усилий — ≤0,25%, а измерения температуры — ≤0,5 °C.

Управление испытательным стендом строится на программно-технической платформе фирмы Siemens, которая выполняет функции обработки технологической информации и управления исполнительными механизмами с учетом целевых значений параметров (уставок), получаемых от АРМ.

Система измерения и управления собрана в унифицированной стойке, куда приходят сигналы от нескольких испытательных комплексов.



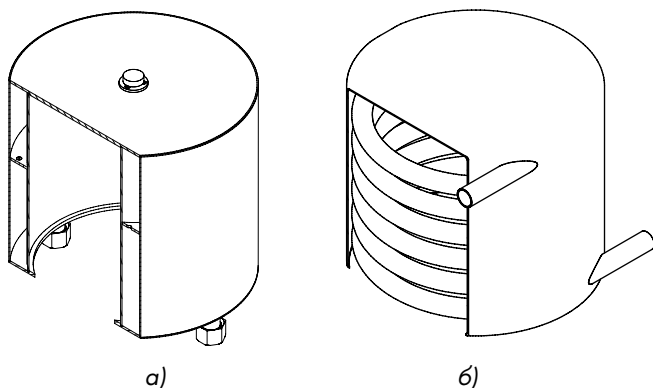


Рис. 7. Конструкция термокамеры  
а) для установки ИУ-100, б) для современного комплекса

В ходе проведения испытаний предусматривается возможность наблюдения значений измеряемых параметров в реальном масштабе времени на АРМ оператора. Выдача данных производится в табличной или графической форме.

#### Работа автоматизированного комплекса

Для проведения испытаний на автоматизированном комплексе достаточно произвести установку образцов в барабан с помощью зажимов и опустить термокамеру.

В отличие от ИУ-100, на которой приходилось после разрыва каждого образца устанавливать последующий образец вручную, на новом комплексе вспомогательные операции выполняются в автоматизированном режиме. Достаточно выбрать требуемые параметры, используя АРМ, и дальнейшее испытание серии образцов пройдет без участия оператора.

Управление испытательным оборудованием проводится посредством АРМ оператора, а в местном режиме — с кнопочного пульта на установке. АРМ оператора включает персональный компьютер, печатающее устройство и специализированное ПО для определения ФМХ ВЭМ, разработанное специалистами ФГУП «ФЦДТ «Союз».

Специализированное ПО позволяет:

- проводить настройку параметров и формировать программу испытаний;
- настраивать измерительные каналы и проводить их калибровку;
- управлять процессом термостатирования образцов;
- контролировать процесс проведения испытаний;
- рассчитывать ФМХ по заданным алгоритмам;
- визуализировать измеряемые характеристики в виде таблиц и графиков;
- формировать и печатать отчеты по результатам испытаний;
- просматривать измеряемые параметры;
- сохранять и архивировать данные результатов испытаний.

Отличительной особенностью автоматизированного комплекса является автоматическая обработка результатов испытаний по заложенным алгоритмам расчета параметров. Для этого проанализирован большой объем экспериментальных данных различных типов ВЭМ. Выделены определенные группы ВЭМ, для которых зависимость деформации от нагрузки являются типовыми. Эти зависимости приняты за образцовые и заносятся в БД комплекса, как и алгоритмы расчета параметров по этим зависимостям. Иногда, вновь полученные диаграммы для новых составов ВЭМ не похожи ни на одну типовую

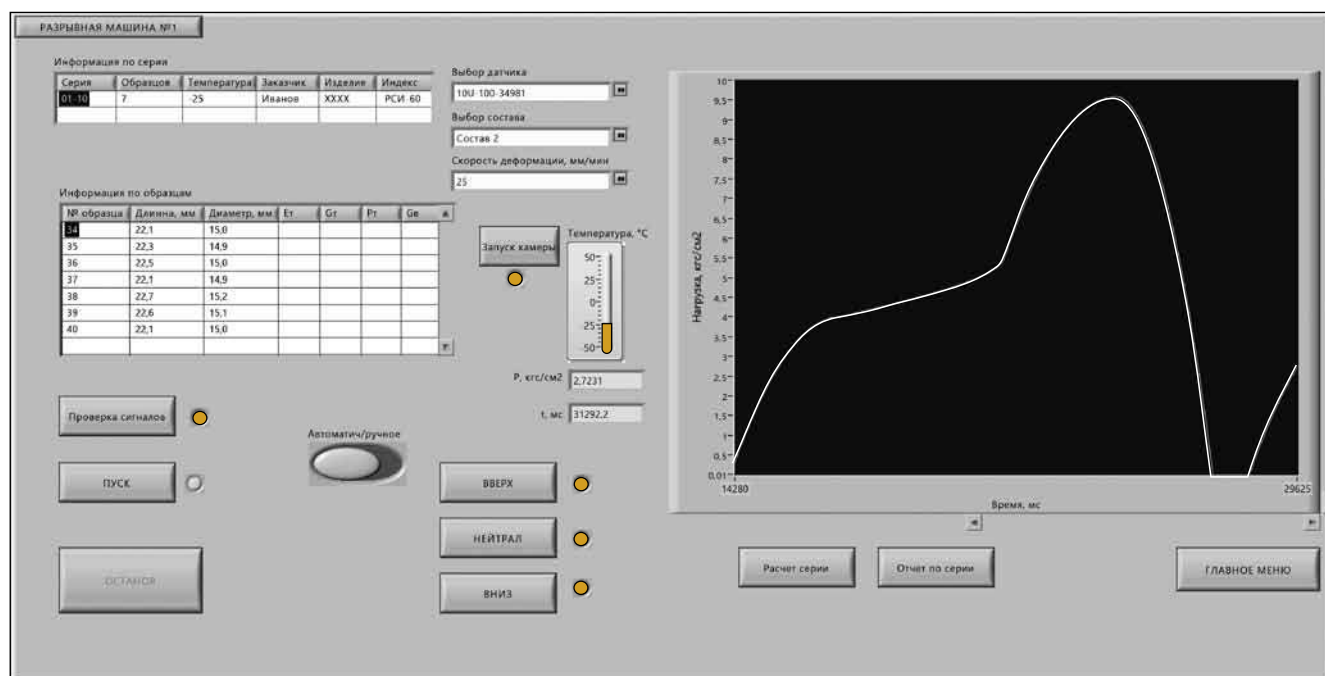


Рис. 8. Окно проведения испытаний АРМ оператора

зависимость. В этом случае для нее разрабатывают специальный алгоритм расчета ФМХ в характерных точках, а саму зависимость считают как типовую и заносят в БД комплекса. Программное обеспечение позволяет без особой сложности добавлять новые алгоритмы и привязывать их к новым типам ВЭМ в БД.

Помимо этого, СПО позволяет проводить вторичную обработку результатов испытаний путем визуально-графического отображения данных. Отобрав график зависимости нагрузки от деформации испытанного образца, существует возможность вручную определить точки, соответствующие параметрам в области текучести и разрушения.

### Заключение

Проведен анализ и определены недостатки применения программно-технических средств для определения ФМХ ВЭМ. Разработан проект автоматизированного комплекса проведения испытаний на основе современных мехатронных механизмов и средств измерений.

Реализация предложенных конструкторско-технологических решений основана на передовых решениях в области высокоточной механики, автоматизиро-

ванных системах контроля и управления процессами, что позволит достичь следующих результатов:

- повысить точность определяемых и регулируемых параметров (усилий с 1,5% до 0,5%, линейных перемещений с 0,7 до 0,5%), за счет применения высокоточной механики и систем контроля;
- снизить трудоемкость в 3 раза за счет автоматизации вспомогательных операций и автоматизированного расчета результатов испытаний;
- сократить до минимума погрешность результатов испытаний;
- сократить расходы на испытания (до 1 млн. руб. с комплекса в год).

Применение автоматизированного комплекса для проведения физико-механических испытаний на предприятиях отрасли позволит существенно повысить эффективность и качество выполняемых работ в области исследований физико-механических свойств ВЭМ.

### Список литературы

1. Рогов Н.Г., Груздев Ю.А. Физико-химические свойства порохов и твердых ракетных топлив. СПбГТИ (ТУ). 2005.
2. Рашковский С.А., Милехин Ю.М. и др. Влияние растяжения смесового топлива на скорость его горения // Физика горения и взрыва. 2009. Т. 45. № 6. — С. 48-56.

**Куренков Валерий Сергеевич** — начальник отделения автоматизации,

**Чушкин Александр Викторович** — ведущий инженер-электроник,

**Ладецкий Антон Денисович** — ведущий инженер-конструктор ФГУП «ФЦДТ «Союз».

Контактный телефон (495) 551-71-23.

E-mail: soyuz@fcdt.ru

### При строительстве нового ЦОДа «ФосАгро» было использовано моновендорное решение Schneider Electric

Компания Schneider Electric, мировой эксперт в области проектирования и строительства центров обработки данных сообщает о вводе в эксплуатацию нового центра обработки данных для Группы «ФосАгро» в г. Череповце, крупнейшего производителя фосфорсодержащих удобрений в России. Центр обработки данных расположен на Череповецкой промышленной площадке группы. Благодаря выбору моновендорного решения проект был завершен в рекордно короткие сроки, соответствует самым высоким стандартам энергоэффективности и полностью удовлетворяет текущие и перспективные потребности заказчика.

Организационные изменения, оптимизация управленческих функций в «ФосАгро» предъявили ряд новых требований к управлению процессом обслуживания ИТ-инфраструктуры и гарантиям доступности критически важных корпоративных сервисов. Для построения единого катастрофоустойчивого центра обработки данных компания обратилась к системному интегратору IBS Platformix, а в качестве основы для создания инженерной инфраструктуры и поддержки всех современных функций мониторинга и управления позволили оперативно создать высокопроизводительный центр обработки данных чуть более чем за 4 мес. — от момента реконструкции здания до запуска серверов.

Несмотря на оперативное создание новой площадки, ЦОД «ФосАгро» нельзя назвать типовым. Он состоит из двух залов, один из которых предназначен для стандартного ИТ-оборудования, второй — для стоек, где размещаются системы хранения данных и серверы нестандартного форм-фактора. Суммарная мощность ИТ-оборудования составляет 250 кВт, еще 250 кВт выделены для нужд инженерных подсистем.

В проекте были использованы внутрирядные кондиционеры InRow™ APC by Schneider Electric с расчетной производительностью

более 30 кВт холода при ширине кондиционера 300 мм, чиллерные машины с одноконтурной схемой и использованием незамерзающего зимой этиленгликоля. Для экономии электроэнергии в холодный период года используются функции фрикулинга, обеспечивающая возможности естественного охлаждения.

Используемая в проекте высокопроизводительная модульная система бесперебойного питания Symmetra PX с КПД 95,6% обеспечивает резервирование по схеме 2N и имеет единственный выходной коэффициент мощности, что позволяет обеспечить высокий уровень готовности и энергоэффективности системы электроснабжения. Каждый ИБП мощностью 500 кВт способен питать всю ИТ-нагрузку и критически важные элементы инженерной инфраструктуры, а модульная архитектура исключает наличие единой точки отказа. В качестве резервного источника используется ДГУ.

Новый ЦОД «ФосАгро» оснащен системой мониторинга инженерной инфраструктуры и климата Data Center Expert, которая обеспечивает непрерывный контроль наиболее важных параметров работы объекта и снабжает администраторов и дежурную смену ЦОДа необходимой статистикой и данными видеонаблюдения, а также оповещает об аварийных событиях. Кроме этого, уведомления передаются в собственную систему Help Desk, а при необходимости — непосредственно в службу поддержки Schneider Electric.

В результате всего за 4 мес. после старта проекта компания «ФосАгро» получила возможность перенести все свои серверные мощности в единый отказоустойчивый ЦОД, сократить затраты на поддержку и предоставила сотрудникам на различных площадках высокоскоростной доступ к виртуализированным сервисам. Созданный запас мощности позволит увеличить мощность ИТ-оборудования до 500 МВт по требованию, просто добавляя новые модули в систему электропитания.

[Http://www.schneider-electric.com/ru](http://www.schneider-electric.com/ru)