

# **Буклет лаборатории механики композиционных материалов и конструкций**

## **Полное название подразделения**

– Лаборатория механики композиционных материалов и конструкций кафедры сопротивления материалов Федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский государственный авиационный технический университет»

## **Сотрудники подразделения**

- количество человек, участвующих в работе (от лаборатории механики композиционных материалов и конструкций) – 3 (см. приложение 1);
- руководитель лаборатории механики композиционных материалов и конструкций – д.т.н., профессор кафедры СМ **Первушин Ю.С.**;
- м.н.с. НИЧ, к.т.н., доцент кафедры МиФМ **Соловьев П.В.**;
- заведующий лабораторией механики композиционных материалов и конструкций **Зильбан Г.М.**;

## **Перечень перспективных тематик / направлений работ, которые может вести подразделение**

- 1 Определение физико-механических характеристик (см. приложение 2) эластомеров (резин), полимерных и композиционных материалов;
- 2 Расчеты на прочность, жесткость, виброустойчивость, длительную прочность элементов конструкций из эластомеров (резин), полимерных и композиционных материалов на основе послойного анализа напряженно-деформированного состояния;
- 3 Исследование механических свойств эластомеров (резин), полимерных и композиционных материалов и элементов конструкций при пониженных, нормальных и повышенных температурах;
- 4 Исследование влияния теплосмен по заданному циклу на механические свойства и длительную прочность эластомеров (резин), полимерных и композиционных материалов и элементов конструкций;
- 5 Исследование прочности и жесткости соединений композиционных материалов и соединений типа «металл/композит»;
- 6 Исследование влияния структуры многослойных композитов на напряженно-деформированное состояние элементов конструкций из них;
- 7 Разработка структур слоистых композитов для стержневых элементов для получения заданного деформационного и напряженного состояний;

8 Исследования физико-механических свойств и расчет на прочность и жесткость гибридных композиционных материалов и элементов конструкций из них;

9 Подготовка, переподготовка и повышение квалификации инженерно-технических кадров в области проектирования, механики и технологии изготовления изделий из полимерных и композиционных материалов;

10 Определение теплофизических характеристик полимерных и композиционных материалов;

11 Определение влияния технологических параметров формования изделий из полимерных и композиционных материалов при различных методах изготовления;

### **Краткое описание ведущихся работ и ожидаемые результаты**

- В данный момент ведутся работы по выявлению влияния поперечной прошивки слоистых композитов на основе углеткани и фталонитрильного связующего на его физико-механические характеристики, а также влияние теплосмен на механические характеристики КМ с прошивкой. В результате исследований должно быть выявлено влияние прошивки на мех. свойства композитов, теоретически определены наиболее благоприятные параметры прошивки, обеспечивающие максимальную реализацию жесткостных и прочностных характеристик композита, установлено влияние теплосмен на деградацию свойств композитов с 3D армированием;

- Также в данный момент ведутся работы в рамках гранта АН РБ «Разработка теоретических основ создания адаптивных композиционных материалов». Основными задачами являются: 1) разработка теоретических основ создания адаптивных структур волокнистых композиционных материалов на полимерных матрицах; 2) установление фундаментальных закономерностей для обеспечения прочности и жесткости элементов конструкций из слоистых композиционных материалов от структурных и эксплуатационных факторов; 3) оптимизация структуры слоистых композиционных материалов с целью обеспечения их наибольшей. Полученные в работе результаты позволят разрабатывать композитные материалы обладающие адаптивной структурой по отношению к действующим нагрузкам, температурным полям. В мировой практике решаются частные задачи проектирования адаптивных структур в применении к отдельным конструкциям, имеются отдельные рекомендации по построению адаптивных структур. В данной работе в сравнении с аналогами предлагается выработка подхода к проектированию конструкций различных типов из адаптивных композиционных материалов, но основе их формы, условий эксплуатации.

## Опыт выполнения аналогичных работ подразделением

- С 2010 года велись работы в рамках работы в рамках гранта Министерства образования и науки РФ по теме: АД-АД-06.11 КФ – «Повышение надёжности и ресурса ГТД транспортных средств, эксплуатирующихся в условиях запылённой атмосферы и морской среды»;

- С 2013 года по настоящее время ведутся совместные работы сотрудников кафедры СМ ФГБОУ ВО «УГАТУ» и ОАО «НИИТ» (г. Уфа) по расчету, проектированию и изготовлению рабочего колеса центробежного компрессора из композиционных материалов для АО «ОДК–Климов» (г. Санкт-Петербург). Сотрудники лаборатории механики композиционных материалов и конструкций занимаются расчетами данного колеса на прочность и жесткость в системе конечно-элементного моделирования ANSYS Workbench с использованием модуля ANSYS Composite Prepost, а также проведением механических испытаний образцов из композитного материала при нормальной и повышенной температуре. В результате, вес разработанного композитного компрессора составил 3,5 кг, что более чем в **два раза меньше** по сравнению с применяемым в настоящее время титановым колесом (7,5 кг). В данное время ведутся работы по исследованию влияния тепловых нагрузок на материал рабочего колеса центробежного компрессора;

- В 2017 году проведены научные исследования влияния ингибиторов коррозии (реагентов) на упругие и прочностные свойства эластомерных образцов различных составов для АО «Опытный завод Нефтехим». Были изготовлены образцы из эластомеров, которые испытывались без выдержки в реагентах, после выдержки в течении 14 и 28 суток соответственно. Определены следующие характеристики: модули упругости при удлинении 50% и 100% соответственно, относительное удлинение при разрыве, предел прочности при растяжении. Представлены диаграммы деформирования и выводы об изменении исследуемых характеристик в зависимости от времени выдержки образцов в реагентах;

- В 2017 году ведутся работы в рамках гранта АН РБ «Разработка теоретических основ создания адаптивных композиционных материалов», руководитель д.т.н., профессор, заведующий кафедрой сопротивления материалов Жернаков В.С.;

**Перечень работ, выполняемых предприятиями корпорации совместно с рассматриваемыми внешними организациями (с указанием сроков и стоимости выполнения работ, а также формы взаимодействия)**

<b>№ п/п</b>	<b>Название работы</b>	<b>Организации, совместно с которыми ведутся работы</b>	<b>Сроки выполнения работ</b>	<b>Стоимость выполнения работ</b>	<b>Форма взаимодействия</b>
1	«Повышение надёжности и ресурса ГТД транспортных средств, эксплуатирующихся в условиях запылённой атмосферы и морской среды»;	ФГУП «НПП «Мотор»	2010-2012 гг.	-	Грант Министерства науки и образования АД-АД-06.11 КФ
2	«Проведение расчетов напряженно-деформированного состояния центробежного колеса компрессора из композиционного материала»	ОАО «НИИТ»	С 2013 г по настоящее время	-	Договор № АД-СМ-04-13-ХГ
3	«Исследование влияния реагентов собственного производства на механические свойства полимерных образцов различного состава»	-	2017	-	Договор № АД-СМ-08-17 ХК
4	«Разработка теоретических основ создания адаптивных композиционных материалов»	-	2017-2019 гг.	-	Грант АН РБ

## **Перечень оборудования, на котором выполняются работы в подразделении**

- Универсальная испытательная машина с компьютерным управлением Zwick Roell Z010 (Германия) (максимальное усилие – 10 кН) (см. приложение 3);
- Универсальная испытательная машина FP-10 (Германия) (максимальное усилие – 10 кН);
- Установка для испытаний на изгиб AS-102 (Венгрия) (максимальное усилие – 2,5кН);
- Установка для испытаний эластомеров на растяжение и сжатие ZM-10 (Германия) (максимальное усилие – 100 Н);
- Универсальные рычажные испытательные машины со ступенчатым нагружением (максимальное усилие – 5 кН);
- Ударные маятниковые копры (2 шт) для испытаний на ударную вязкость (предельная работа разрушения 15 Дж и 1 Дж соответственно);
- Ручной механический пресс для испытаний на сжатие и для формования изделий из полимерных и композиционных материалов (максимальное усилие – 50 кН);
- Модернизированная печь SEVERIN для температурных испытаний (максимальная температура – 350°C);
- Тензометрические станции ТА-5 и 8АНЧ-23 для регистрирования показаний тензодатчиков при механических испытаниях;
- Комплект реверсоров для испытаний на сжатие, изгиб и растяжение при высоких температурах;
- Персональный компьютер для конечно-элементного моделирования напряженно-деформированного состояния изделий из полимерных и композиционных материалов (программный комплекс ANSYS с модулем ANSYS Composite Prepost);
- Муфельная печь мощностью 2,6 кВт для термоциклических испытаний (максимальная температура – 700°C);
- Компрессор КРАТОН АС-350-50-DDV для нагнетания воздуха для термоциклических испытаний, мощность 2,2 кВт (максимальное давление – до 10 атм., объем ресивера 350 литров);
- Программируемый логический контроллер ОВЕН ПЛК-100 для реализации заданного цикла термоциклических испытаний;

## **Предложение кафедры сопротивления материалов и лаборатории механики композиционных материалов и конструкций**

В настоящее время индустрия производства композитных материалов и их применения во всех отраслях промышленности развивается с огромной скоростью. Вклад России в мировое производство композитных материалов в настоящее время составляет 0,3% (из доклада Путина В.В. 24 октября 2012 года), что говорит о серьезном отставании России в этой области и неконкурентоспособности передовых отраслей нашей промышленности.

24 июля 2013 г. № 1307-р Правительство Российской Федерации издало распоряжение о «Развитии отрасли производства композиционных материалов» на период 2013-2020 годы. В целях анализа хода реализации распоряжения Правительства Российской Федерации от 24 июля 2013 г. Департамент государственной политики в сфере высшего образования осуществляет мониторинг образовательной, научно-исследовательской, инновационной деятельности, системы переподготовки, повышения квалификации исследовательских, инженерных и технических кадров для задач развития отрасли композитных материалов.

Кафедра сопротивления материалов предлагает на базе УГАТУ создать региональный учебно-инновационный центр, обеспечивающий развитие методической и материально-технической базы подготовки и переподготовки кадров по направлениям композитной индустрии, способных ставить и решать конкретные научные, конструкционные, опытно-экспериментальные и производственные задачи.

Решаемые задачи:

- подготовка для промышленных предприятий, конструкторских бюро, научно-исследовательских институтов, вузов высококвалифицированных молодых специалистов и кадров высшей квалификации;
- подготовка, переподготовка и повышение квалификации инженерно-технических кадров предприятий республики;
- организация взаимодействия образовательных, научно-исследовательских, конструкторских и производственных учреждений при решении программ в рамках направления развития композитных технологий;
- привлечение ученых и специалистов научно-исследовательских институтов, конструкторских и промышленных организаций отрасли для постановки и ведения новых учебных курсов и лабораторных практикумов;
- использование уникального оборудования научно-исследовательских институтов и промышленных организаций отрасли для подготовки специалистов на мировом уровне;
- привлечение дополнительных ресурсов для развития материально-технической базы, используемой для подготовки и переподготовки кадров в области композитной индустрии, включая международные программы и проекты);

- проведение совместных научных исследований в области композитных материалов;

#### Организация научно-исследовательских лабораторных комплексов

Неотъемлемой частью подготовки высококвалифицированных специалистов для композитной индустрии является создание научно-исследовательских лабораторных комплексов, оснащенных современным испытательным и технологическим оборудованием.

Решаемые задачи:

- проведение студентами научно-исследовательских работ, практики и дипломного проектирования на экспериментальных установках и в лабораториях научно-исследовательских институтов и промышленных организаций отрасли;

- проведение экспериментально-опытных работ совместно с НИИ, КБ и промышленных организаций отрасли;

- использование уникального оборудования научно-исследовательских институтов и промышленных организаций отрасли для подготовки и переподготовки специалистов для композитной индустрии.

Учитывая все возрастающее количество пассажирских лайнеров, фюзеляжи которых изготавливаются из КМ (к 2030-му году 50% авиалайнеров (фюзеляжи) будут изготавливаться из КМ, остальные будут дорабатывать ресурс), потребности в специалистах по обслуживанию самолетов со знанием композитов и их ремонта будет возрастать.

## **Предложение по сотрудничеству с КумАПП**

### **Перечень возможных направлений совместной работы УГАТУ и КумАПП в области проектирования и технологии изготовления изделий из композиционных материалов (КМ)**

Ниже приводится перечень научных направлений и задач, которые могут быть решены УГАТУ на данный момент или являются актуальными направлениями, освоение которых предполагается в перспективе:

#### **1 Задачи по проектированию и расчету напряженно-деформированного состояния (расчеты на прочность и жесткость) изделий из композитов:**

1.1 Прогнозирование упругих и прочностных свойств однонаправленного слоя по известным механическим характеристикам компонентов композита;

1.2 Определение необходимой структуры слоистого композита на основе анализа полей эксплуатационных нагрузок, действующих на изделия из КМ;

1.3 Расчет напряженно-деформированного состояния (НДС) изделий из КМ под действием заданных нагрузок, послойный анализ НДС с определением коэффициента запаса прочности как отдельных слоев, так и всего изделия в целом;

1.4 Оптимизация структуры укладки слоев в соответствии с заданными критериями (по напряженному состоянию, т.е. по запасу прочности, по деформированному состоянию);

1.5 Разработка «адаптивных» конструкций из КМ, которые принимают требуемое деформированное состояние под действием внешних нагрузок (например, лопадки компрессора, лонжероны лопастей вертолета и т.д.);

#### **2 Задачи по экспериментальной проверке качества полученных композитов (механические испытания, микроструктурные и рентгенографические исследования):**

2.1 Механические испытания композитных образцов и изделий с целью определения их упругих, прочностных, теплофизических, реологических и других свойств;

2.2 Микроструктурные исследования с целью определения соответствия реальных технологических параметров композитов заданным: коэффициента армирования, структуры укладки, объемного содержания пор, коэффициента полноты пропитки, степени искривленности и поврежденности волокон и т.д.;

2.3 Рентгенографические исследования образцов и изделий из композитов с целью выявления случайных дефектов и дефектов технологии с



целью отработки правильных технологических режимов формования изделий из КМ;

### **3 Задачи технологического характера:**

3.1 Подбор связующих и армирующих компонентов композита исходя из предъявляемых к изделию требований и эксплуатационных нагрузок

3.2 Получение основных технологических параметров (температура, давление, время выдержки) формования изделий из КМ для обеспечения высоких механических свойств;

3.3 Изготовление опытных образцов из заданных композитов с целью проведения механических испытаний;

3.4 Подбор режимов дополнительной термической обработки для повышения комплекса физико-механических свойств композитов (например, карбонизация полимерных связующих).

### **4 Задачи по переподготовке и повышению квалификации инженерно-конструкторских и инженерно-технических кадров в области механики, проектирования и технологии изготовления изделий из композиционных материалов**

4.1 Основы конечно-элементного моделирования изделий из композиционных материалов;

4.2 Особенности моделирования и расчета на прочность и жесткость композитных конструкций сложной формы (лопатки компрессоров, лопасти вентиляторов, лонжероны несущих винтов вертолетов и т.д.);

4.3 Создание комплексных моделей сборки металлических, неметаллических и композиционных деталей, совместный анализ напряженно-деформированного состояния элементов сборки;

4.4 Конечно-элементная оптимизация структуры композиционных материалов для обеспечения наиболее благоприятных параметров работоспособности композитной конструкции.

4.5 Основы трехмерного и конечно-элементного моделирования в современных CAD/CAE системах (Ansys, Unigraphics NX, Компас, Autocad, Autodesk Inventor, Solidworks и др.)

## Приложение 1

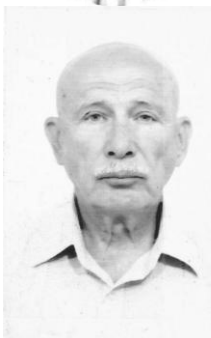
### Сотрудники лаборатории механики композиционных материалов и конструкций



**Первушин Юрий Сергеевич**, руководитель лаборатории механики композиционных материалов и конструкций, доктор технических наук, профессор кафедры сопротивления материалов Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский государственный авиационный технический университет», 450008, республика Башкортостан, г.Уфа, ул. Карла Маркса, д.12, 7(347)272-43-31, [pcomposit@mail.ru](mailto:pcomposit@mail.ru), 8 919 605 25 12. Сфера научных интересов: исследования в области механики и термомеханики композиционных материалов.



**Соловьев Павел Владимирович**, младший научный сотрудник лаборатории механики композиционных материалов и конструкций, кандидат технических наук, доцент кафедры материаловедения и физики металлов Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский государственный авиационный технический университет», 450008, республика Башкортостан, г.Уфа, ул. Карла Маркса, д.12, 7(347)272-43-31, [paulnightingale@mail.ru](mailto:paulnightingale@mail.ru), 8 965 928 48 59. Сфера научных интересов: исследования в области механики и технологии изготовления изделий из композиционных материалов.



**Зильбан Георгий Михайлович**, заведующий лабораторией механики композиционных материалов и конструкций кафедры сопротивления материалов Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский государственный авиационный технический университет», 450008, республика Башкортостан, г.Уфа, ул. Карла Маркса, д.12, 7(347)272-43-31, [zilban\\_georg@mail.ru](mailto:zilban_georg@mail.ru), 8 917 42 61 715. Сфера научных интересов: исследования в области механики и высокотемпературных испытаний изделий из композиционных материалов

## Приложение 2

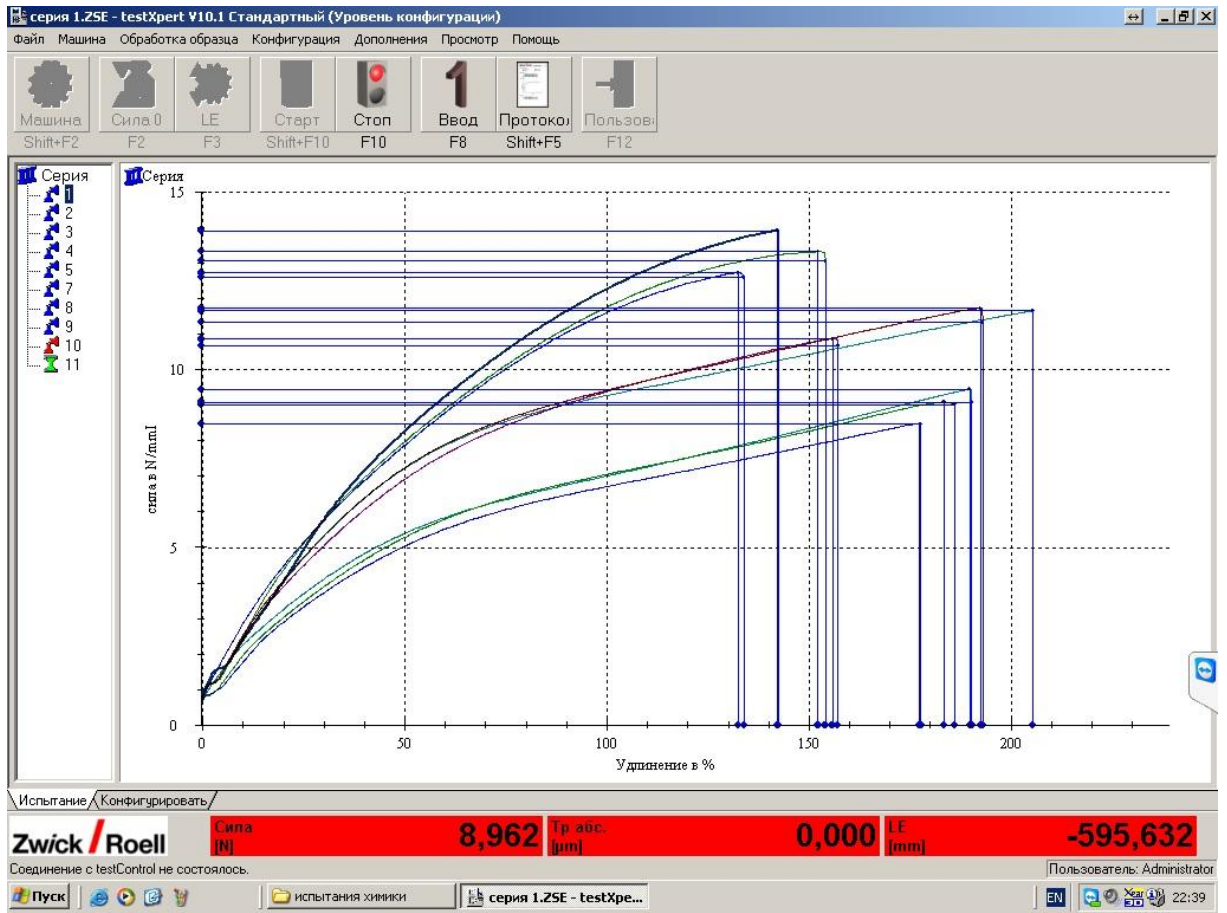
Перечень определяемых физико-механических характеристик эластомеров (резин), полимерных и композиционных материалов:

- 1 Модули упругости при растяжении  $E_1^+, E_2^+$ , сжатии  $E_1^-, E_2^-$  и изгибе  $E_{iu}$  (здесь и далее: при нормальной и повышенной температурах);
- 2 Коэффициенты Пуассона  $\nu_{12}, \nu_{13}, \nu_{23}$ ;
- 3 Модули внутрислойного  $G_{12}$  и межслойного  $G_{13}$  сдвигов;
- 4 Пределы прочности при растяжении  $\bar{\sigma}_1^+, \bar{\sigma}_2^+$ , сжатии  $\bar{\sigma}_1^-, \bar{\sigma}_2^-$ , изгибе  $\bar{\sigma}_{iu}$ , кручении, внутрислойном и межслойном сдвиге  $\bar{\tau}_{12}, \bar{\tau}_{13}, \bar{\tau}_{23}$ ;
- 5 Длительная прочность  $\sigma'_t$  и усталостная прочность  $\sigma_{-1}$ ;
- 6 Ударная вязкость полимерных и композиционных материалов  $a$ ;

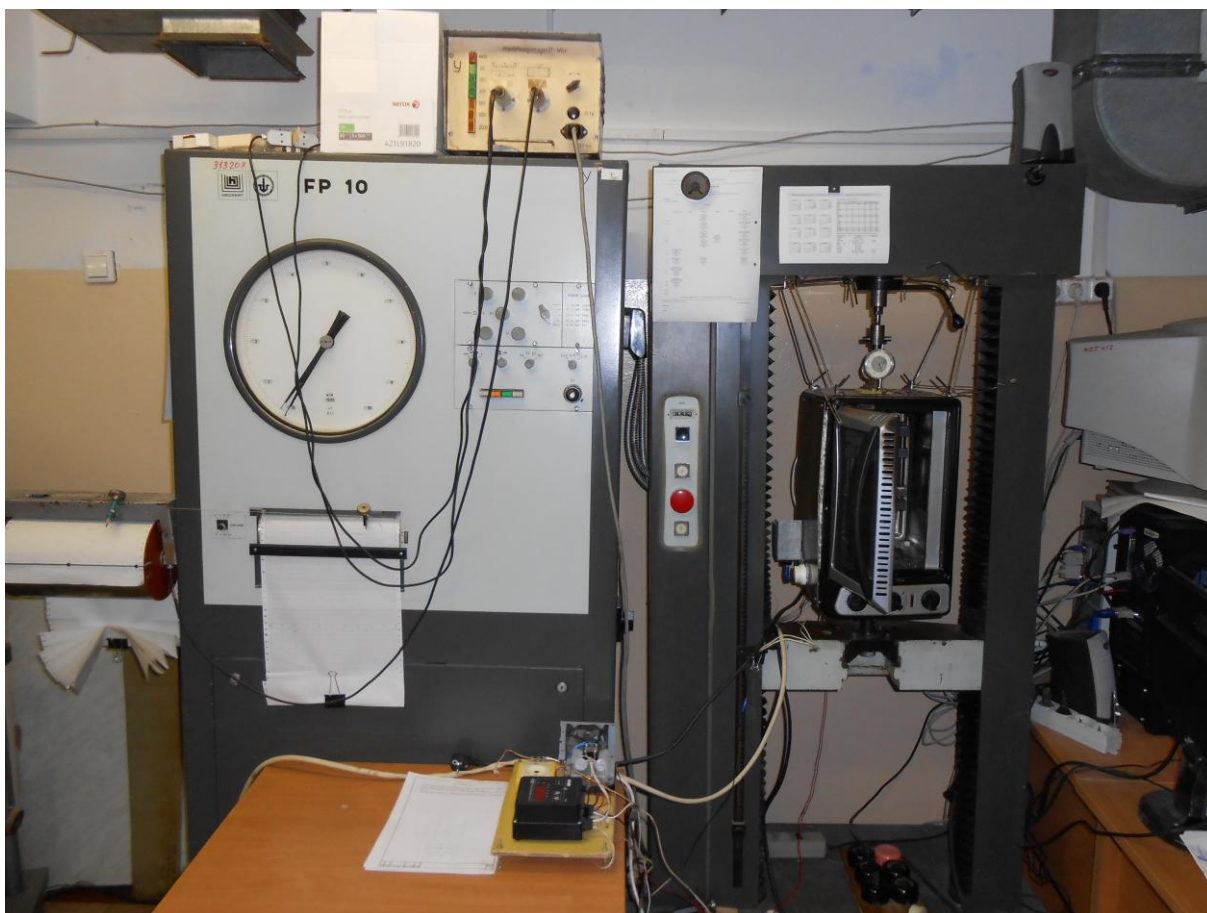
### Приложение 3

- Универсальная испытательная машина с компьютерным управлением Zwick Roell Z10 (Германия)





- Универсальная испытательная машина FP-10 (Германия)



- Установка для испытаний на изгиб AS-102 (Венгрия)



Сопоставление между показками и дополнительными грузами изгибаемой машины AS-102

Максимальная нагрузка по шкалам, кг	Вес дополнительного груза, кг
50	1,5
100	3,0
250	7,25

- Установка для испытаний эластомеров на растяжение и сжатие  
ZM-10 (Германия)





- Универсальные рычажные испытательные машины со ступенчатым нагружением



- Ударные маятниковые копры (2 шт) для испытаний на ударную вязкость

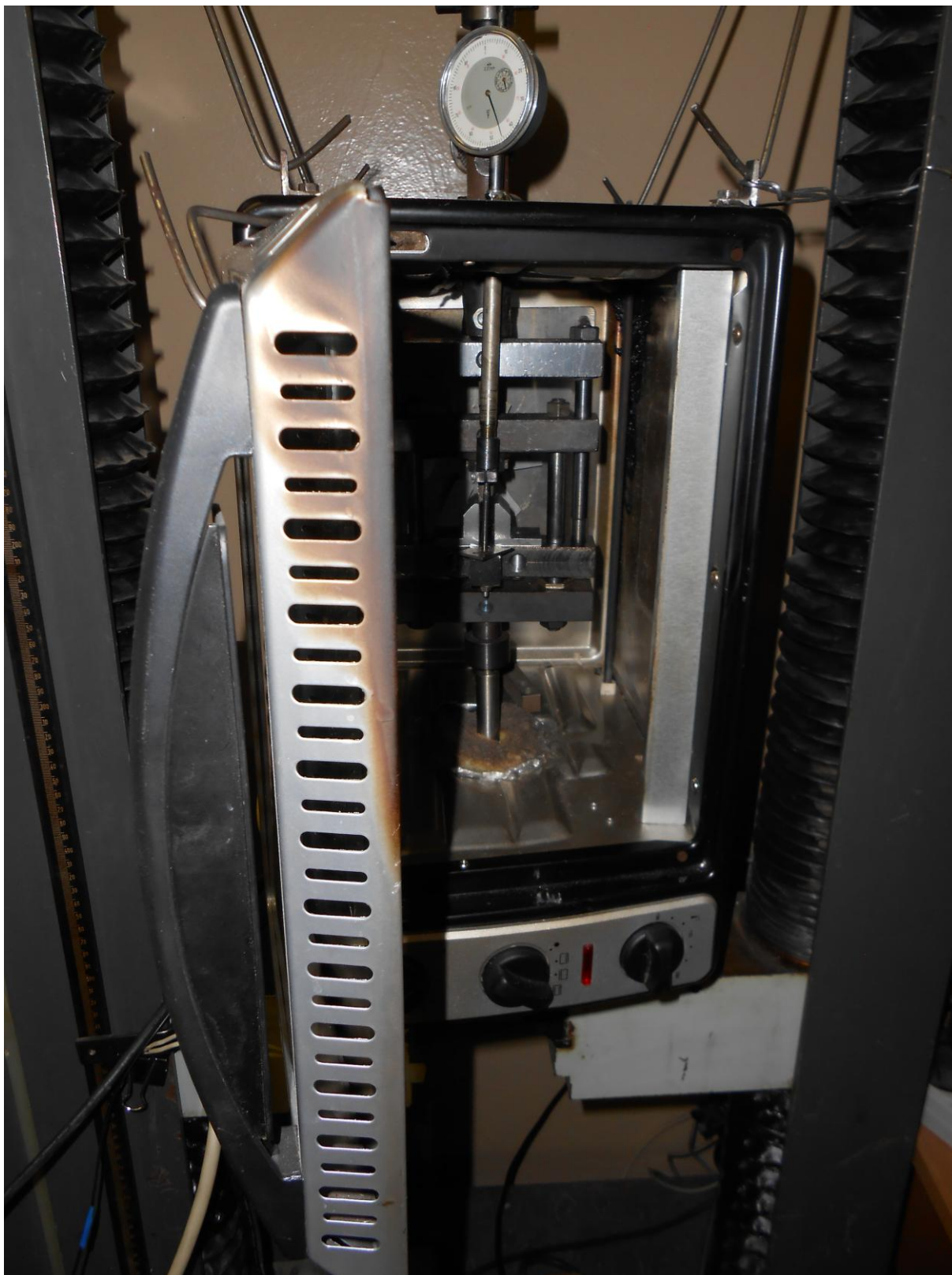




- Ручной механический пресс для испытаний на сжатие и для формования изделий из полимерных и композиционных материалов



- Модернизированная печь SEVERIN для температурных испытаний



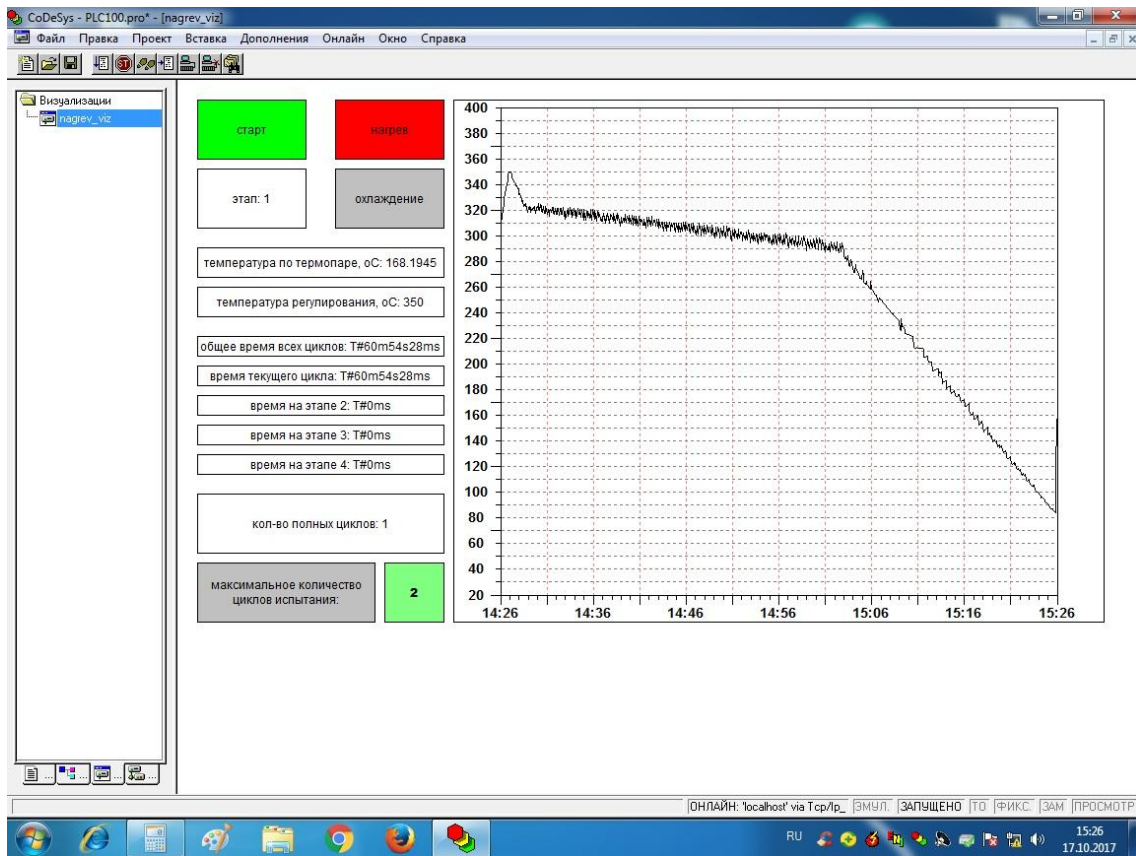
- Тензометрические станции ТА-5 и 8АНЧ-23 для регистрирования показаний тензодатчиков при механических испытаниях



- Комплект реверсоров для испытаний на сжатие, изгиб и растяжение при высоких температурах;



- Установка для термоциклических испытаний





- Муфельная печь мощностью 2,6 кВт для термоциклических испытаний



- Компрессор КРАТОН АС-350-50-DDV для нагнетания воздуха для термоциклических испытаний, мощность 2,2 кВт



- Программируемый логический контроллер ОВЕН ПЛК-100 для реализации заданного цикла термоциклических испытаний

