



**УТВЕРЖДАЮ**

**Генеральный директор ООО «ПМК-Урал»**

\_\_\_\_\_ **А.А. Зобнина**

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ **2026 г.**

**ПРОГРАММА**

**повышения квалификации по механическим динамическим  
испытаниям**

**(подготовка к аттестации по СДА-24-2009, I и II уровни)**

# 1. ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Программа предназначена для специальной подготовки специалистов-испытателей, желающих подтвердить квалификацию по механическим динамическим испытаниям в соответствии с «Правилами аттестации (сертификации) персонала испытательных лабораторий» (СДА-24-2009). Обучение охватывает теорию ударного разрушения, устройство маятниковых копров, технологию испытаний на ударный изгиб при различных температурах, определение склонности к механическому старению, обработку и оценку результатов согласно актуальным стандартам. Выпускники допускаются к сдаче экзаменов для присвоения II уровня квалификации.

## 2. ЦЕЛЬ

Сформировать компетенции, необходимые для самостоятельного проведения динамических испытаний на ударный изгиб (по ГОСТ 9454, ГОСТ 22848, ГОСТ 6996, ГОСТ 30456, ГОСТ Р ИСО 9016) и определения склонности к механическому старению (ГОСТ 7268), выбора и настройки оборудования, обработки результатов и разработки технологических инструкций.

## 3. ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН (120 часов)

№ п/п	Наименование темы	Часы
1	Общие основы испытаний и материаловедение	8
2	Физические основы ударного разрушения	12
3	Испытательное оборудование для динамических испытаний	10
4	Стандартные методы испытаний на ударный изгиб (ГОСТ 9454, ГОСТ 6996)	14
5	Испытания на ударный изгиб при криогенных температурах (ГОСТ 22848)	8
6	Определение склонности к механическому старению (ГОСТ 7268)	6
7	Испытания сварных соединений и современных материалов (ГОСТ 30456, ГОСТ Р ИСО 9016)	8
8	Метрологическое обеспечение динамических испытаний	4
9	Нормативная база и оформление результатов	4
10	Подготовка образцов и настройка копров	12

№ п/п	Наименование темы	Часы
11	Проведение ударных испытаний при различных температурах	18
12	Обработка данных, анализ изломов, составление заключений	12
13	Предэкзаменационная подготовка и итоговое тестирование	4
<b>Всего</b>		<b>120</b>

## 4. СОДЕРЖАНИЕ ТЕМ

### Тема 1. Общие основы испытаний и материаловедение (8 ч)

Роль динамических испытаний в обеспечении промышленной безопасности. Понятие ударной вязкости, её значение для оценки склонности материалов к хрупкому разрушению. Система аттестации персонала по СДА-24-2009.

Строение металлов, фазы, дефекты. Влияние структуры на сопротивление хрупкому разрушению (размер зерна, наличие неметаллических включений, термообработка). Хладноломкость. Критическая температура хрупкости. Механическое старение: сущность, влияние на ударную вязкость. Особенности сварных соединений: зоны шва, ЗТВ, их склонность к хрупкому разрушению.

Охрана труда при работе с маятниковыми копрами, сосудах Дьюара и криогенными жидкостями. Электробезопасность.

### Тема 2. Физические основы ударного разрушения (12 ч)

Динамическое нагружение: отличие от статического, влияние скорости деформации на предел текучести и характер разрушения. Энергия разрушения: составляющие (работа зарождения и распространения трещины). Типы изломов: вязкий (волоконистый), хрупкий (кристаллический), смешанный. Фрактография ударных изломов.

Факторы, влияющие на ударную вязкость: температура, скорость нагружения, форма и размеры концентратора (U-образный, V-образный надрезы), острота надреза, толщина образца. Сериальные кривые ударной вязкости. Понятие критических температур хрупкости ( $T_{50}$ ,  $T_{28}$ ,  $T_{\beta}$ ). Влияние легирования и термообработки на положение хладноломкости.

Физика механического старения: взаимодействие атомов внедрения (углерод, азот) с дислокациями, образование атмосфер Коттрелла, упрочнение и охрупчивание после холодной деформации и нагрева.

### **Тема 3. Испытательное оборудование для динамических испытаний (10 ч)**

Устройство маятникового копра: станина, маятник, опоры, шкала отсчёта энергии. Типы копров: с постоянным запасом энергии (Шарпи) и с переменным запасом. Копры для испытаний по ГОСТ 9454 (300 Дж, 150 Дж). Требования к геометрии опор и бойка для образцов с U- и V-образным надрезом. Поверка копра: измерение потерь энергии на трение, калибровка шкалы.

Оборудование для криогенных испытаний: сосуды Дьюара, ванны с жидким азотом, спиртовые или силиконовые жидкости с контролируемой температурой. Измерение температуры: термодпары, платиновые термометры сопротивления. Устройства для быстрого переноса образца из ванны на опоры копра.

Оборудование для механического старения: печи для предварительной холодной деформации и последующего нагрева образцов.

### **Тема 4. Стандартные методы испытаний на ударный изгиб (ГОСТ 9454, ГОСТ 6996) (14 ч)**

ГОСТ 9454-78 (действует до 01.05.2026) и ГОСТ 9454-2025 (вступает в силу с 01.05.2026). Сравнение редакций, основные изменения. Типы образцов: с U-образным (образцы 1, 2, 3) и V-образным (образцы 11, 12, 13) концентраторами. Размеры, требования к изготовлению и контролю качества надреза.

Проведение испытаний при комнатной, пониженных и повышенных температурах. Подготовка образцов, термостатирование, перенос и установка на копёр. Допустимое время с момента извлечения из термостата до удара (обычно 5 с). Определение работы удара  $K$  (Дж) и ударной вязкости  $KC$  (Дж/см<sup>2</sup>). Учёт поправок на трение. Протоколирование результатов.

ГОСТ 6996-66: испытания сварных соединений на ударный изгиб. Типы образцов с надрезом по шву, по линии сплавления, по ЗТВ. Цель – оценка склонности сварного шва и околошовной зоны к хрупкому разрушению.

### **Тема 5. Испытания на ударный изгиб при криогенных температурах (ГОСТ 22848) (8 ч)**

Особенности испытаний при температурах от  $-100$  до  $-269$  °С. Охлаждающие среды: жидкий азот ( $-196$  °С), жидкий водород ( $-253$  °С), жидкий гелий ( $-269$  °С). Требования к криостатированию: время выдержки, контроль температуры. Предотвращение конденсации влаги и обмерзания образца. Методика быстрого переноса образца из криостата на копёр. Расчёт ударной вязкости при сверхнизких температурах. Оценка хладноломкости аустенитных сталей и сплавов для криогенной техники.

## **Тема 6. Определение склонности к механическому старению (ГОСТ 7268) (6 ч)**

Физическая сущность метода. Порядок проведения испытаний: холодная пластическая деформация образца (обычно растяжением на 10%), нагрев до 250 °С с выдержкой 1 ч, последующее испытание на ударный изгиб. Сравнение ударной вязкости состаренного и исходного образцов. Определение индекса склонности к механическому старению. Критерии оценки. Практическое значение для сталей, эксплуатируемых при повышенных температурах.

## **Тема 7. Испытания сварных соединений и современных материалов (ГОСТ 30456, ГОСТ Р ИСО 9016) (8 ч)**

ГОСТ 30456-2021: определение ударной вязкости металла шва и околошовной зоны сварных соединений на образцах с V-образным надрезом. Требования к отбору проб, расположению надреза.

ГОСТ Р ИСО 9016-2024: международный стандарт, гармонизированный с ISO 9016. Особенности обозначения образцов, требования к оборудованию и протоколированию. Сравнение с ГОСТ 6996 и ГОСТ 9454. Проведение испытаний и применение в практике аккредитованных лабораторий.

## **Тема 8. Метрологическое обеспечение динамических испытаний (4 ч)**

Поверка маятниковых копров: прямое измерение энергии с помощью эталонных динамометров или косвенный метод по контрольным образцам. Определение потерь на трение. Калибровка измерительной шкалы. Поверка термометров и термопар. Требования к неопределённости измерения работы удара. Оценка неопределённости: инструментальная, методическая, операторская составляющие. Внутрилабораторный и межлабораторный контроль.

## **Тема 9. Нормативная база и оформление результатов (4 ч)**

Актуальный Перечень областей аккредитации ИЛ-ЛРИ (ред. 28.01.2026) в части динамических испытаний. Обзор основных стандартов (см. раздел 5). Правила оформления протоколов: указание типа образца, температуры испытаний, работы удара, ударной вязкости, доли вязкой составляющей в изломе. Требования к описанию излома (волокнистый, кристаллический, шиферный). Заключение о соответствии материала заданным нормам.

## **Тема 10. Подготовка образцов и настройка копров (12 ч)**

*Цель:* освоить технологию изготовления и контроля образцов на ударный изгиб, подготовку маятникового копра к работе.

*Оборудование и материалы:* маятниковые копры (Шарпи) с энергией 150 и 300 Дж, наборы образцов с U- и V-образными надрезами (сталь, алюминиевый сплав), лупа измерительная, шаблоны для контроля геометрии надреза, слесарный инструмент.

*Порядок выполнения:*

1. Инструктаж по технике безопасности на копре.
2. Изготовление образцов: вырезка заготовок, механическая обработка, нанесение надрезов (U- и V-образных) на фрезерном станке. Контроль глубины и радиуса надреза.
3. Подготовка копра: проверка уровня, калибровка шкалы, определение потерь на трение (холостой качание). Установка опор и бойка в соответствии с типом образца.
4. Настройка термостатов: жидкостная ванна с подогревом, охлаждающая ванна со спиртом и жидким азотом, контроль температуры.
5. Тренировочные испытания образцов при комнатной температуре, запись результатов, обсуждение ошибок.

## **Тема 11. Проведение ударных испытаний при различных температурах (18 ч)**

*Цель:* приобрести навыки самостоятельного выполнения динамических испытаний в широком диапазоне температур и регистрации результатов.

*Оборудование и материалы:* копёр, образцы с U- и V-надрезом, сварные образцы по ГОСТ 6996 и ГОСТ 30456, сосуды Дьюара с жидким азотом, печь для нагрева, термометры, секундомер, бланки протоколов.

*Порядок выполнения:*

1. **Испытания при комнатной температуре:** серии образцов (не менее 3 шт.) из одной плавки, определение работы удара и ударной вязкости. Оценка разброса.
2. **Построение сериальной кривой:** испытания при температурах +100, +20, 0, -20, -40, -60, -80 °С. Термостатирование 15 мин, время переноса <5 с. Определение критических температур хрупкости  $T_{50}$ .
3. **Испытания при повышенных температурах:** прогрев образцов в печи до 200 °С, испытания. Оценка снижения ударной вязкости.
4. **Испытания сварных соединений:** вырезка образцов с надрезом по шву, по линии сплавления, по ЗТВ. Проведение испытаний, сравнение с основным металлом.
5. **Испытания на склонность к механическому старению (ГОСТ 7268):** холодная деформация образца на 10%, нагрев, испытание на удар. Расчёт индекса старения.
6. **Криогенные испытания (ГОСТ 22848):** охлаждение образцов в жидком азоте (-196 °С), быстрый перенос, испытание. Оценка работы удара.
7. **Документирование:** заполнение протоколов, запись типа излома, фотографирование.

## **Тема 12. Обработка данных, анализ изломов, составление заключений (12 ч)**

*Цель:* освоить статистическую обработку результатов, фрактографический анализ и оформление итоговых документов.

*Оборудование и материалы:* полученные в ходе испытаний образцы с изломами, бинокулярный микроскоп (10–20×), линейка для определения доли вязкой составляющей.

*Порядок выполнения:*

1. **Статистическая обработка:** расчёт среднего арифметического, стандартного отклонения для серий образцов. Построение сериальных кривых (КСУ/КСV – температура). Определение критических температур.
2. **Анализ изломов:** осмотр под микроскопом, определение доли вязкой (волокнуистой) и хрупкой (кристаллической) составляющих. Описание характера разрушения. Сравнение с нормативными требованиями.
3. **Оценка неопределённости:** составление бюджета (неопределённость копра, измерения температуры, оператора). Расчёт расширенной неопределённости для КС.
4. **Оформление заключения:** подготовка полного протокола испытаний с выводами о соответствии марки стали заданным нормам (например,  $КСU^{-40} \geq 30 \text{ Дж/см}^2$ ). Разработка технологической инструкции на проведение ударных испытаний для конкретного продукта.
5. **Инспекционный контроль:** проверка инструкций и результатов, выполненных коллегами, оценка правильности.

## **Тема 13. Предэкзаменационная подготовка и итоговое тестирование (4 ч)**

*Цель:* систематизировать знания и подготовиться к квалификационному экзамену в НОАП.

*Содержание:*

- Повторение теории: физика ударного разрушения, классификация изломов, факторы хладноломкости.
- Решение тестовых заданий (не менее 30 вопросов) из сборника Независимого органа.
- Решение расчётных задач: вычисление работы удара, ударной вязкости, построение сериальной кривой.
- Пробное практическое задание: за ограниченное время выполнить испытание образца с неизвестными характеристиками и оформить заключение.
- Индивидуальные консультации, выдача допуска к итоговой аттестации.

## **5. НОРМАТИВНАЯ БАЗА**

**Основной документ:**

- СДА-24-2009. Правила аттестации (сертификации) персонала испытательных лабораторий.

### **Ударная вязкость:**

- ГОСТ 9454-78. Металлы. Метод испытания на ударный изгиб при пониженных, комнатной и повышенных температурах (действует до 01.05.2026).
- ГОСТ 9454-2025. Металлы. Метод испытания на ударный изгиб при пониженных, комнатной и повышенных температурах (вступает в силу с 01.05.2026).
- ГОСТ 6996-66. Сварные соединения. Методы определения механических свойств.
- ГОСТ 30456-2021. Металлы. Испытания на ударный изгиб на образцах с V-образным надрезом сварных соединений.
- ГОСТ Р ИСО 9016-2024. Испытание разрушающее сварных швов металлических материалов. Испытание на ударный изгиб. Расположение образцов, ориентация надреза и испытание.

### **Ударный изгиб при сверхнизких температурах:**

- ГОСТ 22848-77. Металлы. Метод испытания на ударный изгиб при температурах от минус 100 до минус 269 °С.

### **Склонность к механическому старению:**

- ГОСТ 7268-82. Сталь. Метод определения склонности к механическому старению по испытанию на ударный изгиб.

### **Метрология:**

- ГОСТ 8.640-2014. Государственная система обеспечения единства измерений. Динамометры. Методика поверки (для силоизмерительных систем копров, применимо).
- Методические указания по поверке маятниковых копров (внутренние документы лабораторий).