

ПМК-УРАЛ

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор ООО «ПМК-Урал»

А.А. Зобнина

05 2026 г.



ПРОГРАММА

повышения квалификации по капиллярному методу
неразрушающего контроля

(подготовка к аттестации по СДАНК-02-2020, I и II уровни)

г. Пермь, 2026

1. ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Программа готовит дефектоскопистов к аттестации на II уровень по капиллярному (цветному и люминесцентному) методу. Рассматриваются физические основы смачивания, свойства пенетрантов, технология контроля и критерии оценки.

2. ЦЕЛЬ

Освоить капиллярный метод обнаружения поверхностных дефектов, научиться выбирать дефектоскопические наборы, проводить контроль и выдавать заключения.

3. ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН (35 часов: 21 + 14)

№	Тема	Часы
1	Основы НК и материаловедение	4
2	Физические основы капиллярного метода	3
3	Дефектоскопические материалы	4
4	Технология капиллярного контроля	5
5	Оборудование и осветительные средства	3
6	Нормативная база и оформление результатов	2
7	Подготовка поверхности и нанесение материалов	4
8	Осмотр и интерпретация индикаций	5
9	Комплексное задание и инструкция	3
10	Предэкзаменационная подготовка	2
Всего		35

4. СОДЕРЖАНИЕ ТЕМ

Тема 1. Основы неразрушающего контроля и материаловедение (4 ч)

1.1. Введение в капиллярный метод

Место ПВК среди методов НК. Физический принцип: проникновение индикаторной жидкости в полости поверхностных несплошностей, удаление излишков, извлечение жидкости проявителем и образование индикаторного рисунка. Преимущества:

высокая чувствительность к поверхностным дефектам (трещины с раскрытием от 0,1 мкм), применимость к любым твёрдым материалам (металлы, керамика, пластмассы), наглядность результатов. Ограничения: выявляются только поверхностные дефекты; необходима тщательная подготовка поверхности; трудоёмкость.

1.2. Поверхностные дефекты и их связь с технологией

Виды дефектов, выявляемых ПВК: трещины (закалочные, шлифовочные, усталостные, сварочные горячие и холодные), волосовины, закаты, плёны, поры, выходящие на поверхность, межкристаллитная коррозия. Механизмы образования в зависимости от технологического процесса: литьё (горячие трещины, газовые поры), обработка давлением (закаты, волосовины), сварка (трещины, непровары), термическая обработка (закалочные трещины). Требования к чистоте поверхности и раскрытию дефекта для успешного контроля.

1.3. Система аттестации персонала

Требования СДАНК-02-2020 к специалистам I, II и III уровней по ПВК. Ответственность персонала II уровня за выбор способа контроля, разработку инструкций и оценку результатов.

Тема 2. Физические основы капиллярного метода (3 ч)

2.1. Поверхностные явления в жидкостях

Поверхностная энергия, поверхностное натяжение σ . Единицы измерения (Н/м). Смачивание: угол смачивания θ , уравнение Юнга для равновесия капли на твёрдой поверхности. Условия хорошего смачивания (малый θ). Гидрофильные и гидрофобные поверхности.

2.2. Капиллярное проникновение

Капиллярное давление, формула Лапласа: $\Delta P = 2\sigma \cos\theta / r$ (для щелевого капилляра), где r – полуширина щели. Зависимость высоты и скорости поднятия жидкости от ширины полости. Время пропитки трещины: приближённая оценка по формуле Уошбурна. Влияние вязкости жидкости η : скорость обратно пропорциональна η . Влияние температуры на вязкость и поверхностное натяжение.

2.3. Физика проявления

Назначение проявителя: извлечение пенетранта из дефекта на поверхность (действует как сорбент) и обеспечение контрастного фона. Капиллярное и диффузионное взаимодействие пенетранта с частицами проявителя. Увеличение видимого размера индикаторного следа. Понятие ширины индикаторной линии и её связь с реальным раскрытием трещины.

2.4. Люминесценция и цветовой контраст

Явление фотолюминесценции: возбуждение ультрафиолетовым излучением (длина волны 365 нм) и испускание видимого света (жёлто-зелёный). Закон Стокса (длина волны люминесценции больше длины волны возбуждения). Абсолютный и относительный цветовой контраст, влияние освещённости. Чувствительность глаза к цвету и яркости.

Тема 3. Дефектоскопические материалы (4 ч)

3.1. Индикаторные пенетранты

Требования к пенетрантам: низкое поверхностное натяжение, высокая смачивающая способность, низкая вязкость, химическая инертность к материалу объекта, термическая и химическая стабильность, неагрессивность. Состав: основа (масла, керосин, сложные эфиры), краситель (цветной – красный краситель Судан IV, родамин; люминесцентный – флуоресцентные добавки), смачиватели. Классификация пенетрантов по способу удаления: водосмываемые, постэмульсионные (с предварительным нанесением эмульгатора), очищаемые растворителем. Уровни чувствительности по ГОСТ 18442-80 (1/2, 1, 2, 3, 4), соответствующие им размеры выявляемых дефектов.

3.2. Очистители

Назначение: удаление излишков пенетранта с поверхности без вымывания из дефекта. Вода для водосмываемых пенетрантов. Органические растворители (ацетон, спирт, уайт-спирит) для очищаемых растворителем. Эмульгаторы (масляные, водные) для постэмульсионных пенетрантов. Требования к очистителям: быстрое удаление, минимальное воздействие на пенетрант в дефекте.

3.3. Проявители

Функции: адсорбция пенетранта, создание контрастного фона. Типы проявителей: порошковый (сухой), водный суспензионный, неводный (на основе летучих растворителей) – наиболее распространён, плёночный. Характеристики: дисперсность, белизна, сорбционная ёмкость. Время проявления.

3.4. Правила хранения и контроля качества материалов

Срок годности, условия хранения (температура, отсутствие прямого света). Проверка качества пенетранта: смачивающая способность, яркость люминесценции, вязкость. Контроль чистоты очистителя. Проверка чувствительности комплекта материалов на контрольном образце.

Тема 4. Технология капиллярного контроля (5 ч)

4.1. Подготовка поверхности

Очистка от механических загрязнений: дробеструйная, пескоструйная обработка, шлифовка, шабрение (не зашлифовывать дефекты!). Обезжиривание: органические растворители, щелочные растворы, ультразвуковая очистка. Сушка: горячим воздухом, в сушильном шкафу, протирка чистой ветошью. Контроль чистоты поверхности (отсутствие масляных пятен, влаги).

4.2. Нанесение пенетранта

Способы нанесения: погружение в ванну, кистью, распылением (аэрозоль, краскораспылитель), электростатическое нанесение. Время пропитки (выдержки): обычно 5–30 минут, зависит от материала, температуры, требуемой чувствительности. Температура поверхности (рекомендуемая 10–40 °С); при низких температурах – увеличение времени пропитки.

4.3. Удаление излишков пенетранта

Водосмываемый пенетрант: промывка струёй воды под давлением (не выше 0,2 МПа), контроль температуры воды. Постэмульсионный пенетрант: нанесение эмульгатора, выдержка (обычно 1–3 мин), затем промывка водой. Пенетрант, очищаемый

растворителем: протирка тканью, смоченной растворителем; важно не переувлажнять поверхность, чтобы не вымыть пенетрант из дефекта. Проверка качества удаления (отсутствие остаточного фона).

4.4. Сушка после удаления

Испарение воды или растворителя: обдув сжатым воздухом, протирка сухой безворсовой тканью, сушильный шкаф. Температура сушки не должна превышать допустимую для пенетранта (обычно до 50–60 °С).

4.5. Нанесение проявителя

Способы нанесения: распыление (аэрозоль) – наиболее равномерное, погружение в суспензию, нанесение порошка кистью. Толщина слоя: тонкий равномерный слой (при слишком толстом слое трещины скрываются). Время проявления: обычно 10–30 минут. Освещённость при осмотре: не менее 500 лк для цветного метода, УФ-облучённость не менее 800 мкВт/см² для люминесцентного.

4.6. Осмотр и интерпретация результатов

Осмотр немедленно после нанесения проявителя и через 10–15 минут. Индикаторные следы: трещины – чёткие непрерывные или прерывистые линии; поры – округлые пятна. Цвет: красный на белом фоне (цветной), жёлто-зелёный на тёмном фоне (люминесцентный). Измерение размеров. Отличие истинных дефектов от ложных: ложные (царапины, риски, границы покрытий) – обычно более широкие и размытые. Регистрация: фотографирование, зарисовка на эскизе, перенос на липкую ленту.

4.7. Очистка после контроля

Удаление проявителя и пенетранта: механическая очистка, промывка растворителем.

Тема 5. Оборудование и осветительные средства (3 ч)

5.1. Ультрафиолетовое оборудование

Источники УФ-излучения: ртутные лампы (высокого давления) с фильтром Вуда (пропускает 365 нм), светодиодные УФ-прожекторы. Технические характеристики: интенсивность, равномерность засветки, ресурс ламп. Измерители УФ-облучённости (УФ-радиометры). Требования безопасности: защита глаз и кожи от УФ-излучения, очки, перчатки.

5.2. Средства нанесения материалов

Краскораспылители (аэрографы) для пенетранта и проявителя. Ванны для погружения (с подогревом, циркуляцией). Камеры для очистки и сушки. Аэрозольные баллончики (наиболее удобны в полевых условиях). Ёмкости для приготовления суспензий.

5.3. Средства измерения и контроля

Люксметры для измерения освещённости (белый свет). Линейки, лупы, микроскопы для измерения размеров дефектов. Контрольные образцы (с эталонными трещинами) для проверки чувствительности комплекта материалов. Термометры для контроля температуры поверхности и материалов.

Тема 6. Нормативная база и оформление результатов (2 ч)

6.1. Основные нормативные документы

ГОСТ 18442-80. Контроль неразрушающий. Капиллярный метод. Общие требования.

ГОСТ 24522-80. Контроль неразрушающий. Капиллярный метод. Термины и определения.

ГОСТ 2789-73. Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики.

Отраслевые стандарты и методики (для авиации, атомной энергетики, сварных конструкций).

6.2. Оформление результатов контроля

Формы протоколов: дата, объект контроля, метод контроля, используемые материалы, температура, время пропитки и проявления, описание индикаций, заключение.

Требования к фотографированию (масштабная линейка, контраст). Архивное хранение документов.

Тема 7. Подготовка поверхности и нанесение материалов (4 ч)

Цель: освоить все этапы капиллярного контроля от подготовки поверхности до нанесения проявителя и подготовиться к осмотру.

Оборудование и материалы: образцы из различных материалов (сталь, алюминиевый сплав) с искусственными трещинами разной глубины (контрольные образцы), комплекты пенетрантов: водосмываемый, постэмульсионный, очищаемый растворителем (цветной и люминесцентный), соответствующие очистители, проявители (аэрозольные), УФ-облучатель, УФ-радиометр, люксметр, краскораспылитель, ванны, ветошь без ворса, ёмкости с растворителями, шаберы, наждачная бумага.

Порядок выполнения:

1. **Подготовка поверхности:** механически очистить образцы от окалины, ржавчины, старого покрытия. Обезжирить ацетоном или специальным очистителем, вытереть насухо безворсовой салфеткой. Проверить чистоту (капля воды растекается).
2. **Приготовление материалов:** проверить срок годности пенетрантов и проявителей, встряхнуть аэрозольные баллоны.
3. **Нанесение пенетранта:** на один образец нанести водосмываемый пенетрант кистью, на другой – постэмульсионный пенетрант распылением, на третий – пенетрант, очищаемый растворителем, также распылением. Зафиксировать время нанесения.
4. **Пропитка:** выдержать образцы в течение указанного в инструкции времени (для учебных целей ~10–15 мин).
5. **Удаление излишков:**
 - водосмываемый: обмыть под струёй воды, контролируя отсутствие пенетранта на поверхности (проверка под УФ-светом);
 - постэмульсионный: нанести эмульгатор, выдержать 2 мин, затем смыть водой;
 - очищаемый растворителем: смочить ткань растворителем и тщательно, но без нажима, протереть поверхность, меняя стороны ткани; проверять под УФ-светом.
6. **Сушка:** обдуть сжатым воздухом или протереть сухой тканью, дать высохнуть. Проконтролировать температуру (не перегревать!).
7. **Нанесение проявителя:** равномерно нанести проявитель из аэрозоля с расстояния ~20–30 см тонким слоем. Отметить время.
8. **Подготовка к осмотру:** включить УФ-лампу (прогреть 5–10 мин при ртутной лампе), измерить УФ-облучённость на расстоянии контроля, убедиться, что освещённость

видимого света в зоне осмотра минимальна (для люминесцентного метода). Для цветного – обеспечить освещение белым светом не менее 500 лк.

9. **Документирование:** записать все времена, типы материалов, номера образцов, параметры окружающей среды (температуру, влажность) в протокол.

Тема 8. Осмотр и интерпретация индикаций (5 ч)

Цель: научиться осматривать детали после капиллярного контроля, идентифицировать дефекты, отличать их от ложных индикаций, измерять и документировать результаты.

Оборудование и материалы: образцы из темы 7, прошедшие этап проявления, УФ-облучатель, лупа 5–10×, измерительная лупа или микроскоп с окулярной шкалой, линейка, штангенциркуль, фотоаппарат с макрообъективом, люксметр, бланки протоколов, маркеры.

Порядок выполнения:

1. **Осмотр при белом свете (цветной метод):** через 10–15 мин после нанесения проявителя осмотреть образцы. Выявить индикаторные линии и пятна. Оценить равномерность фона.
2. **Осмотр под УФ (люминесцентный метод):** в затемнённом помещении осмотреть образец, отметить светящиеся жёлто-зелёные индикации.
3. **Идентификация дефектов:** для каждого индикаторного следа описать форму (линейная, округлая, непрерывная, прерывистая), размеры (длина, ширина). Сравнить с эталонными фотографиями из справочных приложений. Отличить истинные дефекты от ложных: ложные появляются на царапинах (широкие, быстро расплываются), на границах покрытий. Если есть сомнения – смыть проявитель, нанести повторно.
4. **Измерение размеров:** с помощью измерительной лупы измерить длину трещины, наибольшую ширину индикаторного следа. Для пор – диаметр. Записать в таблицу.
5. **Фотодокументирование:** сфотографировать все индикации с масштабной линейкой, при хорошем освещении. Для люминесцентного – использовать длительную выдержку или специальный режим камеры.
6. **Заполнение протокола:** для каждого образца указать: идентификатор образца, метод (цветной/люминесцентный), вид дефекта, размеры, координаты, заключение о годности (по условным нормам, например, трещины не допускаются).
7. **Разбор результатов:** преподаватель демонстрирует паспортные данные образцов, обсуждают расхождения, причины пропусков.

Тема 9. Комплексное задание и инструкция (3 ч)

Цель: освоить разработку технологической инструкции по ПВК и выполнить инспекционный контроль.

Задание: каждый слушатель получает объект (например, лопатка компрессора, сварной шов, резьбовая деталь) и разрабатывает технологическую инструкцию, которая должна содержать:

- область применения;
- требования к подготовке поверхности;
- тип комплекта материалов (по чувствительности и способу удаления);

- температуру и время пропитки;
- способ нанесения и удаления пенетранта;
- способ нанесения проявителя и время проявления;
- условия осмотра (освещённость, УФ-облучённость);
- критерии приёмки (со ссылками на НД).

Контроль по инструкции: другой слушатель выполняет контроль этого объекта строго по разработанной инструкции, фиксируя все параметры и результаты. Автор инструкции наблюдает за выполнением, не вмешиваясь, и затем проводит инспекционный контроль: проверяет полноту выявления дефектов, правильность интерпретации, качество протокола.

Обсуждение: в группе анализируются спорные моменты, корректируются инструкции. Преподаватель оценивает качество инструкций и правильность контроля.

Тема 10. Предэкзаменационная подготовка (2 ч)

Цель: закрепить теоретические знания и практические навыки, подготовиться к экзамену.

Содержание:

- Повторение физических основ: капиллярное давление, влияние вязкости, температуры.
- Разбор тестовых вопросов из сборника Независимого органа (не менее 20 вопросов).
- Пробное практическое задание: за 2 часа выполнить контроль образца с неизвестными дефектами, оформить заключение. Оценка по критериям СДАНК-02-2020 (таблица П5.1): знание материалов, применение метода, обнаружение дефектов, отчёт.
- Индивидуальные консультации.

5. НОРМАТИВНАЯ БАЗА

- ГОСТ 18442-80. Контроль неразрушающий. Капиллярный метод. Общие требования.
- ГОСТ 24522-80. Контроль неразрушающий. Капиллярный метод. Термины и определения.
- ГОСТ 2789-73. Шероховатость поверхности.
- ГОСТ 12.2.003-91. ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности.