

# Справочник по промышленной радиографии



# Справочник по промышленной радиографии

## Содержание

Рекомендации по применению продуктов фирмы Kodak .....	2
Плёнки и бумага KODAK INDUSTREX .....	8
Требования к безопасному (неактиничному) освещению фотолаборатории .....	12
Микрофокусная радиография .....	14
Руководство по расчёту экспозиции .....	15
Радиографические расчёты .....	19
Замена типа плёнки .....	24
Использование свинцовых и флуоресцентных экранов .....	25
Обработка плёнок KODAK INDUSTREX .....	27
Контроль процесса обработки плёнки .....	32
Руководство по исправлению дефектов (артефактов), возникающих при обработке плёнок .....	36
Индикаторы качества изображения .....	40
Радиографические коэффициенты эквивалентности .....	45
Как нас найти .....	46
Приложение .....	47

## Рекомендации по применению

<b>Применение</b>	<b>Чувствительный материал</b>
<b>Контроль в самолётостроении</b>	
Конструкции	Плётка INDUSTREX AA400 или M100
Жаровые трубы	Плётка INDUSTREX MX125
Инспекция обломков	Бумага INDUSTREX 620
<b>Самолётные двигатели</b>	
Отливки из лёгких сплавов	Плётка INDUSTREX AA400, MX125 или M100
Точное литьё или литьё по выплавляемым моделям	Плётка INDUSTREX AA400 или MX125
Сварные швы	Плётка INDUSTREX MX125 или M100
<b>Археологические находки</b>	Бумага INDUSTREX 620
<b>Узлы и агрегаты</b>	Вся продукция
<b>Литьё</b>	
Литьё под давлением или кокильное литьё (сплавы на основе лёгких металлов или цинка)	Бумага INDUSTREX 620
Точное литьё (тяжёлые жаропрочные сплавы)	Плётка INDUSTREX AA400, MX125 или T200
Литьё в песчаные формы (тяжёлые сплавы)	Плётка INDUSTREX AA400, MX125 или T200

Упаковка (кассета)	Источник	Примечания
Readypack II или Duorack	60 – 120кВ	Без экрана
Pb Contactpak	Гамма или микрофокус	Свинцовый экран
Бумажные конверты	60 – 120кВ	Без экрана
Readypack II или гибкая Duorack	50 – 200кВ	Многopлeнoчная технология, как правило, без экранов
Гибкая	120 – 300кВ	Многopлeнoчная технология, как правило, с экранами
Readypack II без экранов или упа- ковки специальной формы		
Readypack II или гибкая	80 – 150кВ	Экран требуется для тяжелых метал- лов, возможен флуоресцентный экран для бумаги
Зависит от компонентов узла		
Жёсткая для плот- ного контакта с экраном	50 – 150кВ	
Гибкая	120кВ, Ir <sup>192</sup>	
Гибкая		Для тяжёлых сплавов требуется экран

Таблица 1

## Рекомендации по применению

<b>Применение</b>	<b>Чувствительный материал</b>
<b>Бетон</b>	Плёнки прямой экспозиции
<b>Электрика/электроника</b>	
Батареи, аккумуляторы, штекеры, плавкие предохранители, переключатели и т.д.	Бумага INDUSTREX 620
Электронные компоненты массового производства	Бумага INDUSTREX 620
Микрокомпоненты Многослойные печатные платы	Плёнка INDUSTREX MX125 или M100
<b>Материалы с армирующим волокном</b>	Плёнка INDUSTREX MX125
<b>Судебная экспертиза</b>	Вся продукция
<b>Лесоматериалы</b> (образцы древесины и т.д.)	Плёнка INDUSTREX MX125
<b>Военное снаряжение,</b> в том числе и для исследования бомб перед обезвреживанием	Вся продукция
<b>Картины</b>	Плёнка INDUSTREX AA400

<b>Упаковка (кассета)</b>	<b>источник</b>	<b>Примечания</b>
Гибкая или жёсткая	10 – 100кV	Без экрана или флуоресцентный экран
Жёсткая	50 – 120кV	Флуоресцентный экран, но возможна и прямая экспозиция
Жёсткая	50 – 120кV	Флуоресцентный экран, но возможна и прямая экспозиция
Гибкая или Readypack II	30 – 150кV	Свинцовый экран может потребоваться при энергии выше 80кV
Readypack II	10 – 70кV	Никаких экранов или фильтров
<b>Специализированные технологии</b>		
Readypack II	10 – 50кV	Без экранов или фильтров
В зависимости от компонентов	50–400кV	Широкий выбор пред- метов — от пластита до ракетных двига- телей
Readypack II	10–100кV	Без экранов или фильтров. Возможно использование техно- логии электронной эмиссии, при этом требуется 200–300кV

**Таблица 1**  
(продолжение)

## Рекомендации по применению

Применение	Чувствительный материал
<b>Трубопроводы</b>	
Наземные трубопроводы	Плѐнки INDUSTREX AA400, T200 или MX125
	Плѐнки INDUSTREX AA400 или MX125 (неположенные рулоны)
Трубные соединительные муфты (используемые на особо ответственных участках)	Плѐнка INDUSTREX
Морские трубопроводы	Плѐнка INDUSTREX (неположенные рулоны)
Буровые трубы малого диаметра, трубы на силовых установках	Плѐнка INDUSTREX MX125, T200 или M100
Измерение толщины стенок	Плѐнка INDUSTREX AA400
<b>Семена (прорастание)</b>	
	Плѐнка или бумага INDUSTREX
<b>Автопокрышки</b>	
Со стальным кордом	Бумага INDUSTREX 620
С текстильным кордом	Плѐнки INDUSTREX AA400 или T200
<b>Сварные изделия</b>	
Стальные резервуары, суда, котлы и т.п.	Плѐнка INDUSTREX AA400
Изделия из легких сплавов	Плѐнки INDUSTREX AA400

Упаковка (кассета)	Источник	Примечания
Рулоны в свинцовой упаковке	200–300кВ	Для трубопроводов большого диаметра – панорамная съемка с использованием передвигного внутри-трубного источника рентгеновского излучения (кроулера)
Гибкие кассеты со свинцовым экраном	200–300кВ	Флуоресцентные экраны
Гибкая	300кВ	Свинцовые экраны
Гибкая	150–200кВ	Свинцовые экраны
Жёсткая	100–200кВ Ir <sup>192</sup> или Co <sup>60</sup>	Свинцовые экраны
Readypack II	10–50кВ	Без экрана
Гибкая	30–70кВ	Без экрана
Readypack II	20–30кВ	Без экрана
Гибкая	150кВ, Ir <sup>192</sup>	Требуется свинцовый экран
Гибкая или Readypack II	50–150кВ	Без экранов

**Таблица 1**  
(окончание)



# Плёнки и бумаги KODAK INDUSTREX

Плёнки Kodak INDUSTREX предназначены для прямого экспонирования или экспонирования с использованием свинцовых или металлических экранов. Плёнки и бумага со специальной маркировкой могут экспонироваться с использованием флуоресцентных или с флуорометаллических экранов.

Бумаги Kodak INDUSTREX разработаны с целью снижения стоимости промышленной радиографии. При использовании бумага загружается в жёсткие кассеты и экспонируется с одним флуоресцентным экраном. Обработка бумаги в процессоре P-1-L занимает 20 секунд. Полученную рентгенограмму можно исследовать без просветного стола (негатоскопа), сопоставляя изображение объекта с самим объектом.

Чувствительность бумаги при использовании экранов в 5 – 10 раз выше, чем у плёнки INDUSTREX AA400. Без экранов чувствительность бумаг аналогична чувствительности плёнки INDUSTREX MX125.

## Оттенок изображения на плёнке

На просмотрном столе изображение имеет холодный оттенок. В отраженном свете поверхность может приобрести слегка коричневатый оттенок. Этот эффект вызван новой структурой эмульсии. Изображение на плёнке Kodak INDUSTREX, изготовленной по технологии послойной зернистости, остаётся стабильным.

## Плёнки AA400, MX125, T200, M100, DR50, SR45

Все плёнки Kodak INDUSTREX имеют оптически прозрачные эмульсионные покрытия с двух сторон, толщиной 0.18мм, наносимые на подложку ESTAR. Эта подложка обладает хорошей геометрической стабильностью. Она очень прочная и остаётся плоской на всех стадиях обработки.

### Плёнка Kodak INDUSTREX AA400

ASTM E1815-96

Плёнка типа 2

EN 584-1

Класс 5

Плёнка высокой чувствительности, мелкозернистая, применяется для контроля качества сварных соединений и литья. Она часто используется вместе с плёнкой INDUSTREX MX125 в режиме многократного экспонирования.

### Плёнка Kodak INDUSTREX T200

ASTM E1815-96

Плёнка типа 1

EN 584-1

Класс 4

Плёнка средней чувствительности, очень мелкозернистая, применима для широкого спектра задач, требующих обеспечения высокой надежности результатов, таких как сварные изделия, точное литье и собранные узлы.

### **Плёнка Kodak INDUSTREX MX125**

ASTM E1815-96                      Плёнка типа 1  
EN 584-1                              Класс 3

Плёнка низкой чувствительности, очень мелкозернистая, используется в широком классе задач, требующих обеспечения высокой надежности результатов, таких как агрегаты двигателей самолетов, точное литье и собранные узлы, сварные швы.

### **Плёнка Kodak INDUSTREX M**

ASTM E1815-96                      Плёнка типа 1  
EN 584-1                              Класс 2

Низкочувствительная особо мелкозернистая плёнка для чрезвычайно ответственных работ, таких как контроль качества сварных соединений в ядерной промышленности.

### **Плёнка Kodak INDUSTREX M100**

ASTM E1815-96                      Плёнка типа 1  
EN 584-1                              Класс 2

Низкочувствительная особо мелкозернистая плёнка для чрезвычайно ответственных работ, таких как контроль качества сварных соединений в ядерной промышленности.

### **Плёнка Kodak INDUSTREX DR50**

ASTM E1815-96                      Плёнка типа 1  
EN 584-1                              Класс 2

Низкочувствительная особо мелкозернистая плёнка для чрезвычайно ответственных работ. Может использоваться вместе с другими плёнками при многоплёночной технологии.

## **Специальная плёнка Kodak**

### **Плёнка Kodak INDUSTREX SR45**

Низкочувствительная особо мелкозернистая плёнка с односторонним покрытием для чрезвычайно ответственных работ, при которых для анализа изображения требуется существенное его увеличение; применяется также для нейтронной радиографии.

## **Бумаги 620 и 700**

Основное применение бумаг для рентгенографии — определение крупных дефектов в изделиях из широкого спектра материалов, включая резину и пластик, изделия из лёгких сплавов, изготовленные литьём под давлением и собранных узлы.

### **Бумага Kodak INDUSTREX 620**

Высокочувствительная высококонтрастная бумага предназначена для использования со стандартными усиливающими экранами Kodak X-OMATIC. Это бумага особенно полезна в тех случаях, когда необходимо проведение большого объёма рентгенографических исследований, так как она позволяет сни-

зять себестоимость процедур неразрушающего контроля. После экспозиции бумага обрабатывается по процессу автоматической стабилизации. Если требуется длительное хранение бумажных рентгенограмм, их следует отфиксировать и промыть.

### **Бумага Kodak INDUSTREX 700**

Высококонтрастная высококонтрастная бумага может использоваться как с флуоресцентными экранами, так и для прямого экспонирования. Эту бумагу отличает повышенный срок сохранности рентгенограмм. Обработка её может проводиться ручным или автоматическим способом.

### **Упаковка**

В соответствии с различными методами применения плёнок Kodak используются самые разнообразные способы их упаковки:

#### **Проложенные плёнки (в конвертах)**

Каждая плёнка вложена в отдельный белый бумажный конверт, защищающий эмульсию плёнки от повреждений. Плёнки упакованы в коробки по 100 листов. Такие плёнки предназначены для использования с перезаряжаемыми кассетами и держателями. Разумеется, коробки, содержащие проложенные плёнки, должны вскрываться только в фотолаборатории при неактивном свете.

#### **Непроложенные плёнки (с конвертами)**

Плёнки малого размера – до 13 x 18см – теперь поставляются в упаковках, содержащих по 100 листов плёнки. К упаковке прилагается отдельный комплект конвертов, предназначенных для хранения рентгенограмм.

#### **Непроложенные плёнки (без конвертов)**

Непроложенные плёнки упакованы в пакеты из термозапаянной фольги и разложены в коробки по 100 листов.

#### **Рулоны со свинцовыми экранами (Leadpack Rolls)**

Рулоны поставляются в упаковке, в которой плёнка зажата между двумя 27<sup>ММ</sup>-микронными свинцовыми экранами с лаковым покрытием. Рулоны содержат по 100м плёнки шириной 60, 70 и 100мм. Такая упаковка хорошо защищает плёнку от дождя и сырости.

#### **Упаковка со свинцовыми экранами (Pb Contactpak)**

В упаковке Pb Contactpak используется та же система свинцовых экранов, что и в упаковке Leadpack. Плёнка, зажата между двумя свинцовыми экранами, запечатана в термоупаковку из многослойного ламината, непроницаемого для воды, масла и воздуха. Вакуумная упаковка гарантирует великолепный контакт между плёнкой и экранами.

## **Листы и рулоны — в упаковке ReadyPack II**

Упаковка ReadyPack II без экранов применяется для листов и рулонов и представляет собой комбинацию из бумаги и полиэтилена, что обеспечивает её высокую влагостойкость. Рулоны могут иметь длину 60 и 100м и различную ширину.

## **Правила хранения и обращения с плёнками**

Основным следствием длительного хранения промышленных рентгенографических плёнок является рост плотности вуали. Обычно плёнки считаются годными к применению, если плотность вуали не превышает 0.3. При нормальных условиях хранения плотность вуали постепенно увеличивается по мере старения плёнки. Неудовлетворительные условия хранения ведут к быстрому повышению плотности вуали, сокращают срок службы плёнки и могут служить причиной превышения допустимого уровня плотности вуали до истечения срока годности плёнки.

**Температура и влажность.** Пределы, приведенные на упаковках плёнок, указаны для распечатанных или открытых упаковок. Рекомендуемый диапазон температур хранения — от 10 до 21°C, а рекомендуемый диапазон относительной влажности — от 30 до 50%. Запечатанный продукт упакован герметично и защищён от изменения влажности, кроме того он допускает хранение в значительно более широком диапазоне температур. Хранение при температуре до 35°C в течение короткого периода времени (1–2 недели) не оказывают значительного влияния на параметры плёнки, но более длительное воздействие высоких температур, особенно в сочетании с высокой влажностью, увеличивает плотность вуали.

**Ионизирующее излучение.** Не следует хранить плёнки рядом с радиоактивными изотопами и действующими рентгеновскими установками и уж ни в коем случае — в зонах, где уровень радиации превышает 0.07 микрогрей/час (7 микрорад/час)

**Химические реактивы.** Высокие температуры ускоряют процесс старения раствора проявителя (в том числе концентрата); в фиксаже при температурах ниже 5°C может образовываться осадок.

Храните продукты Kodak в чистых помещениях, оснащенных соответствующими стеллажами и полками, позволяющими складывать продукты отдельно друг от друга и ни в коем случае не на полу.

Химикаты хранятся отдельно и никогда не кладутся над плёнками. Не кладите более трех коробок плёнки друг на друга и не складывайте на них другие материалы. Отдельные пачки плёнки всегда должны храниться вертикально (на ребре).

## Требования к безопасному (неактиничному) освещению

### Фотолаборатория

Работа с фотоплёнками в промышленной радиографии должна проводиться в фотолаборатории при правильно выбранном неактиничном освещении. Необходимо обратить внимание на светонепроницаемость помещения, особенно при установке передвижных фотолабораторий на месте проведения работ. Фотолаборатория должна регулярно проверяться на наличие просачивающегося света (надежность затемнения). Для этого нужно оставаться в ней в течение 10 минут при полностью выключенном свете. Если по истечении 10 минут лист белой бумаги, помещённый на черный фон, остаётся невидимым, помещение считается светонепроницаемым. Если в помещении просачивается свет, это станет заметно за указанный промежуток времени. Небольшие щели можно заклеить черной лентой. Для заделки значительных щелей, как, например, щели дверного проема, необходимо использовать тёмные плотные шторы либо уплотнитель для окон.

### Неактиничное освещение

Для обеспечения удобной работы неактиничное освещение должно быть настолько ярким, насколько это возможно в соответствии с требованиями предотвращения засветки фоточувствительных материалов.

Рекомендуемые световые фильтры должны быть вставлены и плотно пригнаны в соответствующие лампы подсветки, использующие, в большинстве случаев, 25<sup>ти</sup>-ваттные матовые лампочки накаливания. Такая мощность рекомендуется там, где напряжение сети составляет 200–250 вольт. При напряжении сети 110–120 вольт обычно рекомендуется использовать 15<sup>ти</sup>-ваттные матовые лампочки накаливания.

Неактиничное освещение для каждого конкретного материала обычно подразделяют на прямое и рассеянное — в зависимости от чувствительности материала. При наличии такого указания подразумевается одна из схем освещения изображения, представленных на рис. 1

При прямом освещении можно безопасно работать с материалом при расстоянии от лампы 1.2 или более метров. При освещении рассеянным светом минимальное расстояние, складывающееся из расстояния от лампы до рассеивающей поверхности (например, потолка) и от рассеивающей поверхности до плоскости плёнки, — 2 метра.

Рекомендуется регулярно проверять состояние фильтров ламп неактиничного освещения. Постепенное их выцветание ведёт к засветке фоточувствительных материалов.

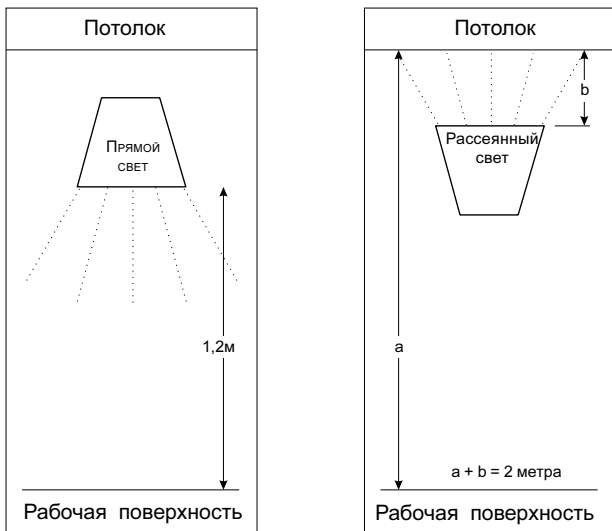


Рис 1

Модель фонаря	Размер фильтра	№ фильтра Kodak
Вeehive (в форме улья)	5,5" в диаметре	6В (прямое)
Универсальный, модель 2	8 x 10" 12 x 10"	6В (прямое) 0С (рассеянное)

**Таблица 2** Рекомендуемые фильтры неактиничного освещения, выпускаемые фирмой Kodak, для использования с плёнками Kodak INDUSTREX. В скобках рядом с типом фильтра указан способ освещения рабочего места

## Микрофокусная радиография

Микрофокусная радиография использует специальные рентгеновские трубки с очень малым фокальным пятном порядка 5–20 микрон с направленными излучателями, работающими в широком диапазоне высоковольтных напряжений — до 200кВ.

Изображение может быть увеличено примерно в 10–20 раз путём увеличения расстояния между объектом и плёнкой до проведения съёмки. Полученные изображения показывают значительное повышение чувствительности этого метода радиографии по сравнению с традиционной контактной радиографией.

Повышение качества изображений является прямым следствием увеличения размера изображений и уменьшения внутреннего рассеяния излучения, попадающего на плёнку. Выигрыш значителен и позволяет получать изображения на плёнках с использованием экранов с малым послесвечением при приемлимой чувствительности и минимальном времени экспозиции.

Для большинства микрофокусных рентгеновских трубок имеется широкий выбор трубок с направленным анодом или, иначе говоря, анодом стержнеобразной конфигурации. Трубка со стержнеобразным анодом, который может достигать 1.5 метров длины, обеспечивая размер фокального пятна 25–50 микрон, удобна для контроля сварочных работ, когда допустимы лишь малые расстояния между фокусом и плёнкой, например, при панорамной экспозиции сварного шва трубы диаметром 25мм. Для облегчения восприятия изображения в случаях, когда можно реально увеличить расстояние между объектом и плёнкой, допустимо использование определенного ограниченного увеличения изображения, например в 2 раза.

При таком использовании расстояние между фокусом и плёнкой может составлять лишь несколько сантиметров, а поэтому плотность засвечивающего плёнку излучения достаточно высока, что позволяет использовать низкочувствительные особо мелкозернистые плёнки. Для отсекающего рассеянного излучения часто требуются свинцовые экраны, и при использовании гибких плёнкодержателей следует уделять особое внимание обеспечению надежного контакта между плёнкой и экраном. Плёнки INDUSTREX MX125 или AA400 в упаковке РЬ Contactpak как раз и отвечают этим требованиям.

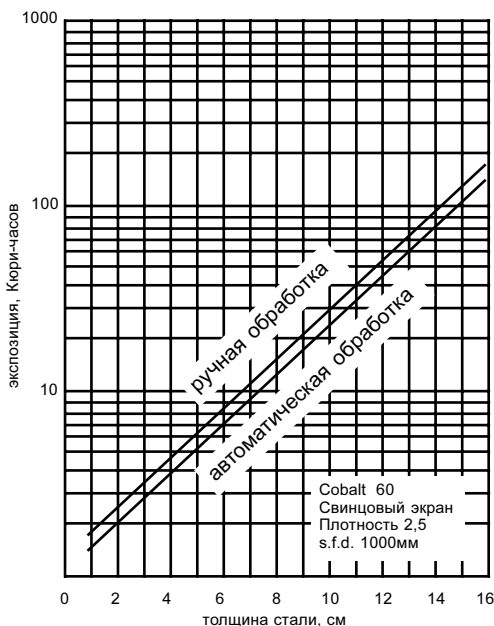
# Руководство по расчёту экспозиции

После того, как выбран наиболее подходящий излучатель, правильное время экспозиции выбирается с применением таблиц или схем экспозиций, логарифмической линейки или специальных расчётов.

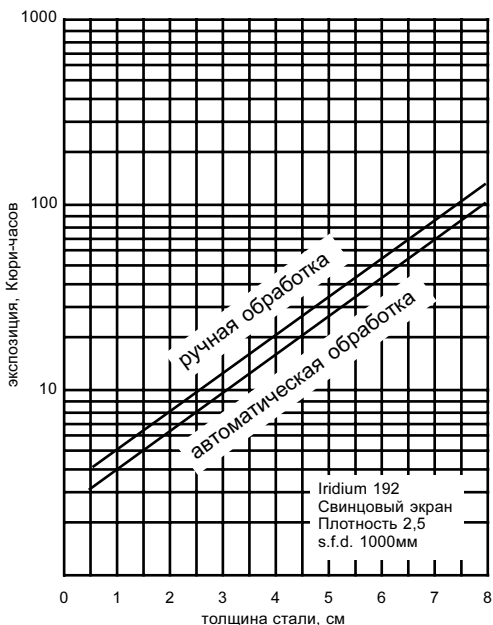
Схемы и таблицы экспозиций для рентгеновского излучения являются наиболее надёжными, если они построены для конкретной рентгеновской установки. Однако таблицы экспозиции для гамма излучения, как правило, достоверны, поскольку энергия в единицах кюри для всех типов источников постоянна. Таблицы экспозиций для  $\text{Ir}^{192}$  приведены на страницах 17 и 18, а номограммы экспозиций для  $\text{Co}^{60}$  и  $\text{Ir}^{192}$  — на страницах 15 и 16. Ниже в таблице 3 приведены относительные коэффициенты экспозиции плёнки для рентгеновского излучения.

Тип плёнки	Коэффициент пересчёта экспозиции в зависимости от энергии излучения	
	50–150кВ	200кВ
AA400	100	100
T200	160	170
MX125	290	280
M100	410	420

Таблица 3 Коэффициенты пересчёта экспозиции для рентгеновского излучения







Примечание: s.f.d. — расстояние от источника излучения до плёнки.

### Калькулятор экспозиций

Калькулятор для вычисления экспозиции в случае источников гамма излучения (ранее известный как SCRATA) представляет собой линейку с движком. Для использования этого калькулятора необходимо знать коэффициенты пересчёта экспозиции плёнок, приводимые в Таблице 4.

Тип плёнки	Коэффициент пересчёта экспозиции в зависимости от способа обработки	
	ручная	автоматическая
<b>AA400</b>	44	38
<b>T200</b>	75	65
<b>MX125</b>	130	110
<b>M100</b>	220	170

**Таблица 4** Коэффициенты пересчёта экспозиции для плёнок Kodak INDUSTREX в зависимости от способа обработки

**ПЛЁНКА КОДАК INDUSTREX AA400**

**Таблица экспозиций (в минутах) при мощности излучения 1 Кюри от источника Ir<sup>192</sup> для получения плотности почернения 2,5**

Расстояние S.F.D.	Дюймы															
	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30		
	см															
	10	15	20	25	30	36	41	46	51	56	61	66	71	76		
<b>Толщина</b>																
Дюймы	мм															
0,25	2	5	9	14	20	29	38	48	59	71	84	98	113	130		
0,375	3	6	10	16	23	32	42	53	65	78	93	109	126	144		
0,5	3	6	12	18	26	37	48	61	75	90	107	125	145	166		
0,625	3	8	14	21	31	44	57	72	88	107	127	148	171	196		
0,75	4	9	16	26	37	53	69	87	107	129	153	179	207	237		
0,875	5	11	19	30	43	62	80	101	124	149	177	207	239	274		
1	6	13	23	36	52	75	97	122	150	180	214	250	290	332		
1,125	7	16	28	44	64	92	119	150	185	223	264	309	358	410		
1,25	8	19	34	53	76	109	142	178	219	264	313	367	425	487		
1,375	10	22	40	63	90	130	168	212	260	314	372	436	504	578		
1,5	12	26	47	73	105	152	197	248	304	367	435	510	590	676		
1,625	14	32	57	89	129	185	240	303	372	448	532	623	721	826		
1,75	17	38	68	106	153	220	286	360	442	533	633	741	857	982		
1,875	20	45	80	125	180	259	336	423	520	627	744	871	1008	—		
2	23	52	93	145	209	301	391	492	605	729	865	1013	—	—		
2,125	27	61	109	170	245	353	458	577	709	855	1014	—	—	—		
2,25	32	73	129	202	290	418	542	682	839	1011	—	—	—	—		

Pb Contactrak — обработка в проявителе для ручной проявки Industrex при температуре 20°С. Время пребывания в растворе — 5 мин

## ПЛЁНКА KODAK INDUSTREX MX125

Таблица экспозиций (в минутах) при мощности излучения 1 Кюри от источника  $\text{Ir}^{192}$  для получения плотности почернения 2,5

Расстояние S.F.D.	дюймы													
	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
см	10	15	20	25	30	36	41	46	51	56	61	66	71	76
Толщина														
Дюймы	мм													
0,25	7,4	17	30	46	67	96	124,8	157	193	233	276	323	374	429
0,375	8,2	18	33	51	74	106	137,3	173	212	256	304	356	412	472
0,5	9,3	21	37	58	84	120	156	196	241	291	345	404	468	536
0,625	10,8	24	43	68	98	140	182,2	229	282	340	403	472	546	626
0,75	13,1	30	53	82	118	170	220,9	278	342	412	489	572	663	759
0,875	15,6	35	62	97	140	202	262,1	330	406	489	580	679	786	901
1	18,6	42	74	116	167	241	312	393	483	582	691	809	936	1072
1,125	21,9	49,3	88	137	197	284	368,2	463	570	687	815	954	1104	1265
1,25	25,8	58	103	161	232	334	433,1	545	670	808	959	1122	1299	1488
1,375	34,93	67	120	187	269	388	503	633	778	938	1113	1303	1508	—
1,5	38,10	82	146	227	327	472	611,6	770	946	1141	1354	1585	—	—
1,625	41,28	96	170	266	383	551	715,2	900	1107	1334	1583	—	—	—
1,75	44,45	113	200	313	451	650	842,5	1061	1304	1572	—	—	—	—
1,875	47,63	133	236	368	531	764	991	1247	1533	—	—	—	—	—
2	50,80	156	277	433	623	897	1163	1464	—	—	—	—	—	—
2,125	53,98	182	324	506	728	1049	1360	—	—	—	—	—	—	—
2,25	57,15	216	384	600	863	1243	1613	—	—	—	—	—	—	—

Pb Contactrak — обработка в проявителе для ручной проявки Industrex при температуре 20°С. Время пребывания в растворе — 5 мин

# Радиографические расчёты

## Рентгеновское излучение

### Время экспозиции, мА–минут

Ток рентгеновских трубок измеряется в миллиамперах (сокращение — мА). Это величина, характеризующая относительную интенсивность излучения на выходе. Удвоение тока удваивает интенсивность излучения.

Экспозиция плёнки зависит от двух факторов — интенсивности и времени экспозиции. Таким образом:

$$\text{Экспозиция} = \text{Интенсивность} \times \text{Время} = \text{мА} \times \text{минуты}$$

**Например:** экспозиция 50 мА минут может быть выражена как

$$\begin{aligned} 50 \text{ мА мин} &= 5 \text{ мА} \times 10 \text{ мин} \\ &= 10 \text{ мА} \times 5 \text{ мин} \\ &= 2 \text{ мА} \times 25 \text{ мин} \\ &\text{и т.д.} \end{aligned}$$

## Гамма–излучение

### Время экспозиции, кюри–минут

В качестве единиц измерения активности или интенсивности источника гамма излучения наиболее часто используются Кюри (Ci), хотя в системе СИ для этого приняты Беккерели. Однако Беккерель (Bq) является очень маленькой величиной, поэтому используется гига-Беккерель ( $1 \text{ GBq} = 10^9 \text{ Bq}$ ).

$$1 \text{ Ci} = 37 \text{ GBq}$$

Экспозиция выражается также как:

$$\text{Экспозиция} = \text{Интенсивность} \times \text{Время}$$

Или

$$\text{Экспозиция} = \text{Кюри} \times \text{Час (минуты)}$$

**Например:** экспозиция 6 Кюри час может быть выражена как

$$\begin{aligned} 6 \text{ Кюри час} &= 6 \text{ Кюри} \times 1 \text{ час} \\ &= 3 \text{ Кюри} \times 2 \text{ часа} \\ &= 12 \text{ Кюри} \times 1/2 \text{ часа.} \\ &\text{и т.д.} \end{aligned}$$

## Расчёт минимального расстояния между фокусом и плёнкой (f.f.d. — *focus to film distance*)

Большинство стандартов задают максимально допустимое значение геометрической нерезкости изображения ( $U_g$ ). Обычно это 0.25мм, хотя встречаются и исключения, когда необходимы меньшие значения.

Исходя из простой геометрии легко рассчитать минимальное значение f.f.d., допустимое для любого образца без превышения требуемого значения  $U_g$ .

Формула выглядит следующим образом:

$$a = \frac{f \times b}{U_g} + b,$$

Где:  $a$  = минимально допустимое значение **f.f.d.**;  
 $f$  = размер фокального пятна или источник;  
 $b$  = расстояние между объектом и плёнкой (o.f.d.)  
(обычно равно максимальной толщине образца);  
 **$U_g$**  = допустимая величина  **$U_g$** .

**Пример:** минимальное значение **f.f.d.** для сварного шва толщиной 50мм, при использовании аппаратуры с фокальным пятном 4мм и допустимым значением  $U_g$  0.25 рассчитывается следующим образом:

$$\begin{aligned} f &= 4\text{мм}; \\ b &= 50\text{мм}; \\ U_g &= 0.25\text{мм} \\ a &= ? \end{aligned}$$

Следовательно:

$$\begin{aligned} a &= \frac{f \times b}{U_g} + b \\ &= \frac{4 \times 50}{0.25} + 50 \\ &= \frac{200}{0.25} + 50 \\ &= 800 + 50 = 850\text{мм} \end{aligned}$$

Минимальное значение f.f.d. = 850мм

Это же выражение может быть переписано в иной форме для расчёта геометрической размытости изображения ( $U_g$ ) при заданном значении f.f.d.:

$$U_g = \frac{f \times b}{(a - b)}$$

**Пример:** определить  $U_g$  при толщине образца 40мм на рентгеновской установке с фокальным пятном 2мм при минимальном фокусном расстоянии  $f.f.d. = 400$ мм:

$$\begin{aligned}f &= 2\text{мм}; \\b &= 40\text{мм}; \\a &= 400\text{мм}.\end{aligned}$$

Следовательно:

$$\begin{aligned}U_g &= \frac{f \times b}{(a - b)} \\&= \frac{2 \times 40}{400 - 40} \\&= \frac{80}{360} = 0,22\text{мм}\end{aligned}$$

### **Закон обратных квадратов**

Интенсивность излучения, достигающего плёнки, изменяется обратно пропорционально квадрату расстояния от источника излучения. Отсюда следует, что экспозиция изменяется пропорционально квадрату этого расстояния. Приводимая ниже формула позволяет скомпенсировать изменение  $s.f.d.$ :

$$\text{новая экспозиция} = \text{старая экспозиция} \times \frac{[\text{новое } s.f.d.]^2}{[\text{старое } s.f.d.]^2}$$

**Пример:** экспозиция, при которой достигалась плотность почернения плёнки 2.0 для образца при 800мм  $s.f.d.$ , составляла 16 мА–мин. Определим экспозицию, требуемую для получения такой же плотности потемнения при 1600мм  $s.f.d.$ :

$$\begin{aligned}\text{старая экспозиция} &= 16 \text{ мА–мин}; \\ \text{новое } s.f.d. &= 1600\text{мм}; \\ \text{старое } s.f.d. &= 800\text{мм}\end{aligned}$$

Следовательно

$$\begin{aligned}\text{новая экспозиция} &= 16 \times \frac{(1600)^2}{(800)^2} \\ &= 16 \times \frac{16 \times 16}{8 \times 8} \\ &= 16 \times 4 = 64 \text{ мА–мин}\end{aligned}$$

### Изменение плотности почернения

Если получаемые рентгенограммы имеют слишком высокую или слишком низкую плотность почернения, то для корректировки экспозиции используется характеристическая кривая плёнки.

Характеристическая кривая плёнки (см. рис.2) представляет собой график зависимости между относительной экспозицией и плотностью почернения для типовой плёнки Kodak Industrex при стандартной процедуре обработки.

На основании этой кривой в таблице 5 приведены коэффициенты, на которые необходимо умножить значение экспозиции для получения изменения плотности почернения.

**Пример:** требуемая плотность почернения равна 2.50. Плотность, полученная при пробной 30<sup>TM</sup> секундной экспозиции, составляет 1.50.

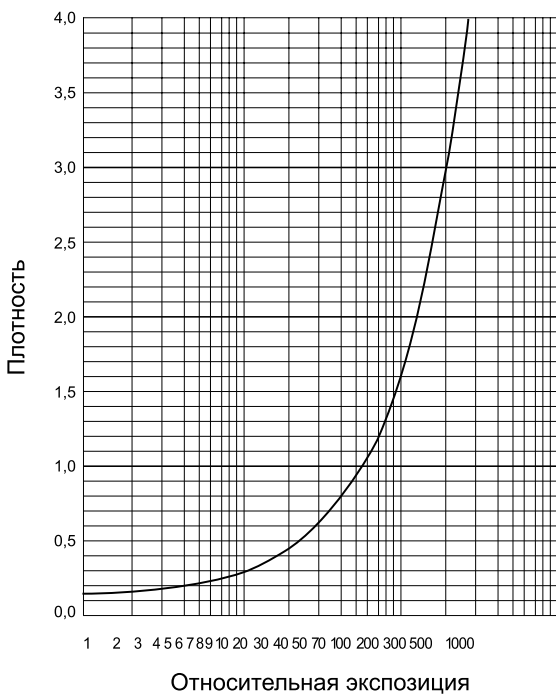
В таблице указано значение коэффициента, равное 1.90. Поэтому:

$30 \text{ сек} \times 1.90 = 57 \text{ сек}$  – экспозиция, требуемая для получения плотности почернения 2.50.

Полученная плотность	Требуемая плотность			
	1,50	2,00	2,50	3,00
0,50	5,00	7,50	10,00	12,00
0,75	2,60	3,90	4,90	6,00
1,00	1,75	2,50	3,33	4,00
1,50	1,00	1,40	1,90	2,40
2,00	0,70	1,00	1,25	1,60
2,50	0,55	0,80	1,00	1,20
2,75	0,50	0,70	0,85	1,10
3,00	0,45	0,60	0,80	1,00
3,50	0,38	0,55	0,70	0,86
3,75	0,36	0,53	0,65	0,80
4,00	0,35	0,50	0,60	0,75

**Таблица 5** Умножьте значение экспозиции, соответствующее полученной плотности, на коэффициент, приведенный в таблице, и вы получите значение экспозиции, необходимое для получения требуемой плотности.

**Рис. 2** Типичная характеристическая кривая для плёнок Kodak INDUSTREX.





## Замена типа плёнки

Замена типа используемой плёнки требует изменения экспозиции для компенсации разницы в их чувствительности. Для расчёта экспозиции, требуемой при переходе к любому другому типу плёнке, можно воспользоваться следующим выражением:

$$\text{Экспозиция для новой плёнки} = \text{Экспозиция для старой плёнки} \times \frac{\text{относительное значение экспозиции для новой плёнки}}{\text{относительное значение экспозиции для старой плёнки}}$$

Относительные значения экспозиций для плёнок Kodak INDUSTREX приведены в таблице 6, однако, следует отметить, что эти величины зависят от типа и мощности используемого излучения.

Пример: если при использовании источника  $\text{Ir}^{192}$  и плёнки Kodak INDUSTREX AA400 для получения снимка требовалась экспозиция 2 Кюри–час, то экспозиция, требуемая для плёнки Kodak INDUSTREX DR50, определяется выражением:

$$\text{Экспозиция для новой плёнки} = 2 \times (650/100) = 13 \text{ Кюри–часов.}$$

Энергия	Плёнки Kodak Industrex					
	AA400	T200	MX125	M100	M	DR50
50 – 150кВ	100	160	290	410	300	650
220кВ	100	170	280	420	350	720
$\text{Ir}^{192}$	100	190	310	540	440	900
$\text{Co}^{60}$ и источники большой энергии	100	190	330	630	510	1000

**Таблица 6** Относительные значения экспозиций для плёнок Kodak **INDUSTREX**.

Чувствительность плёнки Kodak INDUSTREX AA400 здесь принята за 100 единиц. В таблице приведены сравнительные значения экспозиций для семейства плёнок INDUSTREX по отношению к плёнке INDUSTREX AA400. Данные приведены для случая автоматической обработки в проявочной машине В2000 в течении 8 минут при температуре 26°C.

# Использование свинцовых и флуоресцентных экранов

## Свинцовые экраны

Экраны из свинцовой фольги, расположенные с обеих сторон рентгеновской плёнки, широко используются в промышленной радиографии. Они выполняют две основные функции:

1. Снижают время экспозиции путем усиления излучения;
2. Уменьшают уровень засветки рассеянным излучением, ухудшающим изображение.

Механизм, благодаря которому реализуются обе эти функции, сложен. Он включает в себя эмиссию электронов и порождение вторичного излучения в свинце, поглощение излучения, рассеянного образцом, и поглощение вторичного рассеянного излучения. Эти факторы зависят от энергии излучения, толщины свинцового экрана, материала и толщины образца.

Экраны из свинцовой фольги очень полезны в промышленной радиографии. Они позволяют сократить время экспозиции для стальных образцов толщиной более 6мм при напряжении, превышающем 130кВ, или при использовании гамма-излучения. Экраны уменьшают воздействие рассеянного излучения на изображение, особенно излучения, которое проникает по краям образца при прохождении первичного излучения через части плёнокододержателя или кассеты, находящиеся вне области, закрытой образцом. Использование свинцовых экранов рекомендовано во всех случаях, где они способны усиливать излучение. Однако в некоторых случаях свинцовые экраны могут использоваться и там, где они неизбежно приводят к увеличению времени экспозиции. Главным критерием их применения должно служить качество получаемых рентгенограмм — свинцовые экраны следует использовать везде, где они повышают качество рентгенограмм.

## Флуоресцентные экраны

Иногда в промышленной радиографии могут эффективно использоваться флуоресцентные экраны. Стандартный кальций–вольфрамовый экран не снижает уровень рассеянного излучения, и качество радиографических изображений, получаемых с применением этих экранов, не столь высоко, как качество изображений, получаемых с применением свинцовых экранов. Однако кальций–вольфрамовые экраны позволяют значительно сократить время экспозиции, особенно в случае рентгеновского излучения, усиливая его приблизительно в 100 раз. Они существенно меньше усиливают гамма–излучение (приблизительно в 20–40 раз). Низкая контрастность изображения, характерная для гамма–радиографии, в сочетании с нерезкостью изображения, вызываемой применением кальций–вольфрамовых экранов, приводит к низкой чувствительности метода и ошибкам при выявлении дефектов.

## Флуорометаллические экраны

Флуорометаллические экраны совмещают преимущества и флуоресцентных и свинцовых экранов — они представляют собой свинцовый слой, покрытый флуоресцентным составом. Эти экраны позволяют весьма существенно сократить экспозицию — в зависимости от энергии излучения и продолжительности экспозиции (см. ниже).

Четкость изображения здесь значительно выше, чем при использовании обычного флуоресцентного экрана, а более высокая контрастность, образованная ярким излученным изображением, позволяет повысить чувствительность метода в обнаружении дефектов.

## Экспозиция при использовании флуорометаллических экранов

При определении условий экспозиции в радиографии со свинцовыми экранами или без них явление взаимозаменяемости соотношений интенсивность/время остаётся в силе. Взаимосвязь соотношения типа мА/время и закона обратных квадратов с вычислением соотношений типа время/расстояние такова: известное изменение тока (мА) или расстояния влекут за собой точно предсказуемое изменение времени экспозиции. Это называется законом взаимозаменяемости, верным как при прямой экспозиции плёнки с помощью рентгеновских лучей, так и при экспозиции через свинцовый экран. Однако при экспозиции светом, испускаемым флуоресцентными и флуорометаллическими усиливающими экранами, закон взаимозаменяемости не работает. Именно поэтому невозможно задать единый коэффициент усиления, пригодный при всех условиях экспозиции.

Экспозиция со свинцовым экраном	Приблизительная экспозиция при использовании флуорометаллических экранов и плёнок Kodak Industrex	
	Рентгеновское излучение	Ir <sup>192</sup>
30 сек	2,5 сек	7 сек
60 сек	5 сек	15 сек
5 мин	30 сек	1 мин 20 сек
10 мин	1 мин 10 сек	3 мин
20 мин	3 мин 20 сек	8 мин 40 сек
60 мин		40 мин

**Таблица 7** В таблице приводится сравнение экспозиций при использовании свинцовых и флуорометаллических экранов с учётом нарушения закона взаимозаменяемости по мере увеличения времени экспозиции

# Обработка плёнок Kodak INDUSTREX

## Реактивы Kodak для ручной обработки плёнок

Проявители и фиксажи Kodak для ручной обработки плёнок выпускаются в виде жидких концентратов и в порошке. Жидкие реактивы проще и быстрее подготовить, и поэтому они удобнее в использовании, чем порошковые.

## Жидкие реактивы Kodak

INDUSTREX Manual Developer — проявитель для ручной обработки плёнок;

INDUSTREX Manual Fixer — фиксаж для ручной обработки плёнок.

## Прочие реактивы Kodak

MAX — стоп-ванна с индикатором, используется после проявителя для прерывания процесса проявки;

Раствор PHOTO-FLO 600 — предназначен для снятия с плёнки статического заряда, предотвращает скручивание плёнки и оседание на ней пыли.

Проявитель (INDUSTREX Manual Developer)	4 мин
Стоп-ванна	0,5 – 1 мин
Фиксаж (INDUSTREX Manual Fixer)	3 – 6 мин
Промывка	10 – 30 мин
Ополаскивание (раствор PHOTO-FLO 600)	30 сек

**Таблица 8** Общие рекомендации по ручной обработке плёнок Kodak INDUSTREX при температуре 20°C и регулярном перемешивании.

Обработка плёнок может проводиться и при температурах, отличных от 20°C.

Температура проявки (°C)	Время проявки, минуты	
	Норма	Максимум
18	5	10
19	4,5	9
<b>20</b>	<b>4</b>	<b>8</b>
21	3,5	7
22	3,25	6,5
24	2,5	5

**Таблица 9** Влияние температуры на процесс проявки плёнок Kodak INDUSTREX.  
(Проявитель — INDUSTREX Manual Developer.)

Заметим, что обработка в проявителе продолжительностью менее 4 минут может привести к неравномерности проявки. Если возникла необходимость обработки плёнки при температурах около 24°C, необходимо чаще возобновлять раствор фиксажа. Плёнка должна быть полностью зафиксирована для обеспечения максимального задубления, а время промывки должно быть ограничено 15<sup>10</sup> минутами.

## Освежение (регенерация) растворов при ручной обработке плёнок

### Проявители

По мере использования и хранения активность раствора проявителя постепенно снижается. Освежение (регенерация) раствора обеспечивает поддержание его активности и, соответственно, требуемое для проявки время остаётся постоянным в течение всего срока использования раствора проявителя.

Проявитель INDUSTREX Manual может использоваться для освежения раствора в количестве 660мл/м<sup>2</sup>. Отлейте часть проявителя из бака в отдельный сосуд и сохраните его, добавьте в бак необходимое количество освежающего раствора, а затем долейте его раствором проявителя, отлитым ранее в сосуд. Тщательно перемешайте содержимое бака. Остаток проявителя в сосуде использовать не следует. Альтернативной методикой является «долив», когда объем освежающего раствора равен количеству раствора, унесённого при обработке плёнки. Здесь требуется строго выдерживать фиксированное время стекания проявителя с плёнки в бак; для поддержания требуемой активности проявитель может использоваться в более высокой концентрации, вплоть до пропорции 1:3.

Проявитель INDUSTREX Manual следует заменить после того, как объем добавленного раствора станет равным двойному объёму бака или при сильно обесцвечивании раствора.

Для получения надежных результатов активность проявителя должна контролироваться с помощью контрольных полосок.

## Фиксажи

При ручной обработке плёнки раствор фиксажа обычно не освежается. Компенсация старения растворов осуществляется путем увеличения времени выдержки плёнки в растворе до момента, пока это время не увеличится вдвое. После этого раствор заменяется свежим. Полное время фиксации плёнок в свежем фиксаже Kodak INDUSTREX Manual Fixer – фиксаж для ручной обработки плёнок – при 20°C составляет 3 минуты.

Для улучшения результатов и более эффективного процесса фиксации изображения используйте две последовательные ванны с фиксажем. Поместив плёнку в первую ванну, дождитесь, пока с неё полностью исчезнет молочный налёт, и заметьте потребовавшееся на это время (время обработки), выньте плёнку из ванночки и дайте раствору фиксажа стекать в течение 10 секунд. Опустите плёнку во вторую ванночку на такое же время, которое потребовалось в первый раз, и перед тем как поместить плёнку в ванночку с промывкой, снова в течение 10 секунд дайте раствору фиксажа стечь. Когда раствор в первой ванночке настолько выработается, что время просветления плёнки удвоится, вылейте его из ванночки, передвиньте вторую ванночку на место первой и подготовьте свежий второй раствор фиксажа. Повторив эту процедуру четыре раза, вылейте обе ванночки и подготовьте новую пару растворов. Чтобы избежать проблем, возникающих при движении плёнки в автоматической сушке, следует использовать дубящий фиксаж, а время промывки не должно превышать необходимое. Плёнки, пролежавшие в промывочной ванночке избыточное время, до сушки следует повторно закрепить и промыть.

## Автоматическая обработка плёнок

Во всех автоматах Kodak INDUSTREX для обработки плёнок используются проявитель INDUSTREX Developer и фиксаж INDUSTREX Fixer.

### Проявочная машина Kodak INDUSTREX M35

Это самый маленький из автоматов, выпускаемых фирмой Kodak, обеспечивающий выполнение цикла обработки плёнки за время от 2.5 до 10.5 минут в двух фиксированных режимах, устанавливаемых переключателем.

8.5 мин — для плёнок INDUSTREX AA400, T200, MX125, DR50;  
10.5 мин — для плёнок INDUSTREX M и M100.

Длительность цикл (мин.)	2,5	8,5	10,5
Температура проявителя (°C)	35	28	27,5
Расход проявителя (мл/мин.)	180	60	55
Расход фиксажа (мл/мин.)	330	115	110

Затравка проявителя (starter) — 200 мл.

## Проявочная машина Kodak INDUSTREX M6-I

Автомат M6-I может быть настроен на выполнение следующих циклов:

6.5 мин — для плёнок INDUSTREX AA400, T200, MX125, DR50;

8 или 11.5 мин — для INDUSTREX M и M100.

Длительность цикл (мин.)	6,5	8,5	11,5
Температура проявителя (°C)	25	26	27
Расход проявителя (мл/мин.)	115	80	55
Расход фиксажа (мл/мин.)	210	150	110

Затравка проявителя (starter) — 285 мл.

## Проявочная машина Kodak INDUSTREX B2000

Выпускается вместо Модели B с тремя устанавливаемыми циклами, каждый из которых настраивается на время от 5 до 13 минут.

6.5 мин — для плёнок INDUSTREX AA400, T200, MX125, DR50;

8 или 12 мин — для INDUSTREX M и M100.

Длительность цикл (мин.)	6	8	12
Температура проявителя (°C)	27	26	27
Расход проявителя (мл/мин.)	195	160	110
Расход фиксажа (мл/мин.)	370	300	205

Затравка проявителя (starter) — 950 мл.

## Сохранность изображений и хранение рентгенограмм

На сохранность промышленных рентгенограмм влияют два фактора. Первый — это уровень остаточного тиосульфата в плёнке после обработки. Этот уровень легко определяется с помощью простого теста. Вторым фактором являются условия хранения. Если планируется особое время хранения плёнки, она должна быть тщательно зафиксирована и хорошо промыта, чтобы уровень остаточного тиосульфата не превышал допустимого значения, и при этом необходимо строго следовать всем рекомендациям по хранению плёнки.

В ANSI IT9-1-1989 описаны три категории радиографических записей:

**архивные** — записи, имеющие неизменное историческое значение и подлежащие бессрочному хранению;

**долгосрочные** — записи, подлежащие хранению в течение 100 лет;

**краткосрочные** — записи, подлежащие хранению в течение 10 лет.

В ANSI IT9–1–1989 определен максимальный уровень тиосульфата, составляющий:

для **архивных** записей — 2микрограмм/см<sup>2</sup>;

для **долгосрочных** записей — 5микрограмм/см<sup>2</sup>;

для **краткосрочных** записей — 10микрограмм/см<sup>2</sup>.

Подробные инструкции по условиям хранения плёнок приводятся в ANSI IT9.2 1988 и PHI.43 1985.

### **Рекомендуемые условия хранения**

1. Избегайте хранить плёнки в атмосфере, содержащей химические примеси.
2. Избегайте резких перепадов температуры и влажности.
3. Храните плёнки при температуре от 0 до 24°C и относительной влажности от 30 до 50%.
4. Допускается кратковременное повышение температуры до 32°C, а относительная влажность не должна превышать 50%.
5. Во избежание загрязнения храните каждую рентгенограмму в упаковочном конверте. Можно хранить несколько рентгенограмм в одном конверте, если между ними проложены слои бумаги.
6. Никогда не храните рентгенограммы при ярком освещении или под прямыми солнечными лучами.
7. Избегайте складирования большого количества рентгенограмм стопкой.



## Контроль процесса обработки плёнки

Цель контроля процесса обработки плёнок состоит в том, чтобы гарантировать обеспечение постоянной плотности плёнок. В предположении, что плёнки всегда обрабатываются в едином режиме — по времени, температуре, перемешиванию растворов — необходимо обеспечить как можно более стабильную активность проявителя путем регулярного, дозированного добавления в него освежающего раствора. В стандартных условиях проявки повышенная активность проявителя приводит к повышению плотности почернения плёнки, а его пониженная активность — к понижению плотности почернения.

Контроль процесса включает в себя следующие этапы:

1. Подготовку контрольных полосок плёнки.

Под контрольными полосками плёнки понимаются полоски рентгеновской плёнки, подвергнутые одинаковой экспозиции в рентгеновских лучах.

2. Обработка контрольных полосок плёнки через регулярные промежутки времени, например, по одной полоске в день.

3. Оценка результатов обработки контрольных полосок плёнки, т.е. измерение плотностей почернения обработанной полоски, оценка их допустимости и нанесение данных на график контроля процесса.

### Подготовка контрольных полосок плёнки

Зарядите в кассету лист рентгеновской плёнки из используемой вами в настоящее время партии и поместите её на экспозиционный стол лицевой стороной вверх. Возьмите лист свинца, толщиной 5мм, и достаточно большой по размеру, чтобы закрыть всю кассету. Положите свинцовый лист таким образом, чтобы закрыть часть плёнки от засветки во время экспозиции. Время экспозиции должно быть таким, чтобы плотность почернения закрытой свинцом части плёнки после обработки незначительно превышала плотность почернения абсолютно не засвеченных частей плёнки (т.е. плотность почернения плёнки под свинцом должна складываться из плотности вуали и базовой плотности). Для обеспечения равномерной засветки плёнки по площади, расстояние между фокусом и плёнкой должно быть как можно больше. Рекомендуемое напряжение экспозиции — 60–100кВ. Закрыв свинцовой пластиной 2/3 поверхности плёнки, выполните первую экспозицию; сдвинув лист свинца так, чтобы он закрывал лишь 1/3 поверхности плёнки, выполните вторую экспозицию. Таким образом первая треть плёнки будет подвергнута двойной экспозиции, вторая треть — одинарной, а последняя останется практически полностью не засвеченной. Режимы экспозиции должны быть подобраны так, чтобы плотность первой трети составляла 2.50–3.0, второй части — 1.50–2.50, а плотность третьей, как уже говорилось выше, — лишь незначительно превышала плотность вуали. Следует откорректировать время экспозиции, чтобы получить правильную плотность почернения плёнки.

Для определения экспозиции предварительно можно сделать экспозиционный клин — ряд экспозиций, отличающихся друг от друга на длину одной экспозиции. После экспозиции листа плёнки удалите его из кассеты в фотолаборатории при неактивном свете, разрежьте его на удобное число полосок и упакуйте их в светонепроницаемые конверты для дальнейшего использования.

Для снижения эффекта деградации непроявленного изображения контрольные полоски до использования следует хранить в течение недели.

### **Обработка контрольных полосок плёнки**

В большинстве случаев достаточно обрабатывать одну полоску в день.

При ручной обработке рекомендуется использовать подходящие прищепки для подвешивания плёнок и помещать плёнки в проявочный бак так, чтобы наиболее засвеченный край оказался внизу. Необходимо проверить температуру раствора проявителя непосредственно перед обработкой полоски и записать её в журнал.

### **Оценка результатов обработки контрольных полосок**

После обработки каждой полоски плёнки, используйте денситометр для измерения плотностей почернения плёнки в экспонированных зонах и в неэкспонированной области, где измеряется плотность вуали.

### **Желаемая плотность почернения после обработки**

В начале процедуры обрабатывается несколько полосок и устанавливаются *желаемые плотности почернения после обработки*, равные усредненным значениям показаний денситометрии для трёх уровней градации плотности почернения, тем самым задаются желаемые значения плотности почернения для трёх зон — зоны вуали, зоны  $d_1$  и зоны  $d_2$ .

### **Контрольные пределы**

Установив желаемую плотность почернения, определяющую устойчивость процесса обработки плёнки, необходимо зафиксировать верхний и нижний пределы изменения этой плотности. Положение пределов зависит от допустимой, с точки зрения радиографии, величины изменения плотности почернения плёнки. В большинстве применений удовлетворительный уровень контроля обеспечивается, если величины пределов равны желаемой величине чувствительности и контрастности  $\pm 10\%$ .

Сумма плотности вуали и базовой плотности большинства плёнок не должна превышать 0.25. Значительное увеличение этой плотности обычно сопровождается значительным повышением плотности почернения в зоне высоких плотностей и является индикатором значительной перепроявки плёнки, засветки при обработке или других нарушений процесса. Представленная на схеме точка, соответствующая максимальному значению плотности, равному 0.30, является контрольной.

Исходя из значений плотности в зоне высоких плотностей, следует установить максимальную желаемую плотность почернения путем усреднения первых пяти полосок из первого набора и нанесения этого значения на график.

### Нанесение данных на график (схему)

#### Пример получения желаемых значений

вуаль = 0,24,

желаемое значение  $d_1 = 1,78$ ,

желаемое значение  $d_2 = 3,50$

**Вуаль.** Плотность вуали наносится на схему, как:

**желаемая плотность вуали = 0.24**

**Чувствительность.** Величина, равная низкому уровню плотности ( $d_1$  – вуаль), может быть нанесена на схему в качестве непосредственно значения чувствительности:

**желаемая чувствительность  $Sr = 1,78 - 0,24 = 1,54$**

**Контраст.** В качестве значения контраста может быть принято значение выражение  $d_2 - d_1$ :

**желаемый контраст =  $3,50 - 1,78 = 1,72$**

**Пример:** при обработке последовательности полосок в течение следующих нескольких дней были получены результаты, приведённые на схеме (стр.35).

Значение контраста  $d_2 - d_1$  не совпадает с реальным значением контрастом, определяемым с помощью характеристической кривой, поэтому до нанесения на схему необходимо его откорректировать с учётом уровней плотности, полученных в ходе обработки. Отметим, что способ определения контраста по формуле  $d_2 - d_1$  применим **только** на этапе определения желаемых плотностей. При регулярных процедурах контроля должна использоваться формула:

**Контраст =  $(d_2 - d_1) \times Sr / (d_1 - \text{вуаль})$ ,**

Где величины: Sr, вуаль,  $d_1$  и  $d_2$  — это значения плотности, измеренные в один день на очередной контрольной полоске.

Вуаль	$d_1$	$d_2$	$d_2 - d_1$	откорректированный контраст
0,24	1,83	3,52	1,69	1,64
0,22	1,81	3,53	1,72	1,67
0,21	1,79	3,54	1,75	1,70
0,20	1,80	3,55	1,75	1,68
0,21	1,78	3,50	1,72	1,68
0,20	1,59	2,97	1,38	1,52
0,21	1,77	3,52	1,75	1,72

Таблица 10



---

## **Ложные дефекты, возникающие при автоматической обработке**

---

Тонкие линии, шириной от 0.5 до 1мм, низкой контрастности, повышенной или пониженной плотности, прерывистые или непрерывные.

Очень тонкие тёмные четко выраженные линии в направлении движения плёнки.

---

Штрихи/полосы повышенной плотности, расположенные нерегулярно поперёк плёнки по всей, более выраженные в центре плёнки.

---

Волнистая линия повышенной плотности, часто расположенная около переднего края плёнки, со следами потёртости или выщерблинами на эмульсии.

---

Маленькие пятна повышенной плотности, напоминающие изображение пузырьков газа.

Пятна повышенной плотности, расположенные случайным образом.

Кляксы или нерезкие пятна повышенной плотности, образующие узор.

Мутные пятна ряби повышенной плотности.

---

Высокая вуаль, низкий контраст, повышенная плотность.

Повышенная плотность и вуаль, повышенная зернистость изображения.

Матовые пятна неправильной формы, слабо жёлтые в проходящем свете.

Незасвеченные области плёнки непрозрачны.

---

Плёнка смещается в поперечном направлении или застревает.

---

---

## Причина и способ устранения

---

Следы проявителя или фиксажа, оставленные направляющим башмаком, — отрегулировать направляющий башмак или обратную секцию машины.

Обычно возникают при сушке плёнки — проверить поддон подачи плёнки, выход из сушильной камеры, наличие грязи на роликах, входные направляющие переходного устройства

---

Истощённый проявитель — проверьте значение регенерации (освежения), насос, наличие перегиба шлангов.

---

Отрегулировать положение башмака входных направляющих — неравномерная протяжка — проверьте натяжение звездочки, шестерней, обратный механизм проявочной секции машины.

---

Брызги проявителя, возникшие в результате работы без крышек.

Брызги воды, вызванные неправильным положением промывочной гребёнки или засором/блокировкой части отверстий.

Загрязнение проявителем выходного ролика проявочной секции — перепутаны переходные устройства — тщательно промыть и правильно установить.

Водяной конденсат в обратном механизме проявочной секции — проверьте натяжение или исправность ракеля в промывочной секции.

---

Высокая температура проявителя или загрязнённость фиксажа.

Высокая температура проявителя — горячая вода при промывке (должна быть на 2-3 градуса ниже температуры проявителя)

Недостаточная подача воды — плёнка не полностью зафиксирована или недостаточно промыта.

Плёнка не зафиксирована — проверить подачу освежающего раствора.

---

Переходные механизмы установлены неправильно, обратные секции плохо отрегулированы, неправильно выставлена подача плёнки на входе в машину.

---

---

## **Ложные дефекты, возникающие при ручной обработке**

---

Двойное изображение, т.е. предыдущий объект наложен на ту же плёнку.

Неотчётливое изображение случайно отпечатавшейся поверхности или предмета.

Слабый рябой отпечаток бумаги.

Общая мелкая рябь по всей поверхности плёнки

---

Прожилки повышенной или пониженной плотности, часто с тёмным контуром.

Тёмные зоны, расположенные под зонами низкой плотности, или светлые зоны, расположенные под зонами высокой плотности.

---

Округлые области различного размера, имеющие повышенную плотность.

Неоднородное изображение или смазанные объекты.

Области повышенной плотности в форме полумесяца, завитка.

---

Очень маленькие светлые точки (похожие на следы булавочных уколов).

Маленькие округлые хорошо очерченные пятна с тёмными краями.

Маленькие или большие неоднородные пятна с тёмными краями и размазанные, часто продолговатые пятна.

Маленькие светлые пятна в форме полумесяца.

---

Высокая вуаль, низкий контраст, зернистое изображение повышенной плотности.

Низкая плотность, низкий контраст.

Розоватое пятно, в отражённом свете приобретающее жёлто-зелёный оттенок.

Прозрачные области плёнки имеют молочный оттенок.

При рассматривании плёнка кажется желтоватой.

---

---

## Причина и способ устранения

---

### Двойная экспозиция

Дефектные фонари неактиничного освещения или краткое пребывание на актиничном свете или гибкие кассеты пропускают свет.

Прокладочная бумага попала между плёнкой и экраном или дефектные фонари неактиничного освещения.

Поверхность плёнки имеет вид апельсиновой корки — проверьте условия хранения.

---

Следы сушки — используйте Photo-Flo. Отсутствие перемешивания или истощенный раствор проявителя.

Направляющие кронштейны загрязнены фиксажем.

Недостаточное перемешивание раствора вызывает стекание раствора солей брома, входящих в проявитель.

---

Брызги проявителя или воды, попавшие на плёнку до проявки.

Попадание фиксажа на проявленную плёнку до промывки, стоп-ванны или до помещения плёнки в фиксажную ванну.

Следы надавливания на плёнку после экспозиции или очень сильное надавливание до экспозиции.

---

Пыль, попавшая между экраном и плёнкой.

Пузырьки воздуха, прилипшие к поверхности плёнки во время проявки — недостаточное встряхивание плёнки в проявочном баке.

Следы надавливания — неловкое обращение с плёнкой при её заправке в кассету.

Следы надавливания на плёнку до экспозиции — неловкое обращение с плёнкой.

---

Высокая температура проявителя или превышенное время проявки.

Недопроявка плёнки или низкая температура проявителя.

Дихроичная вуаль — загрязнённый проявитель или истощённый раствор фиксажа — заменить химикаты и/или использовать стоп-ванну.

Не происходит фиксирование плёнки — заменить фиксаж.

Плёнка не полностью зафиксирована или плохо промыта — повторно зафиксировать и промыть плёнку.

---



## Индикаторы качества изображения (ИКИ)

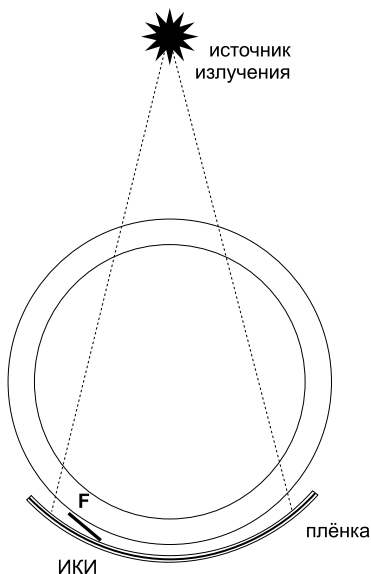
Индикатор качества изображения, ИКИ (IQI) — это устройство, служащее для оценки качества радиографии. С его помощью достигается и непрерывно отслеживается качество радиографического процесса.

ИКИ представляет собой набор ступенек или проволок различной толщины, изготовленных из того же материала, что и исследуемые образцы или аналогичного ему материала.

### Методы использования

Обычно ИКИ помещается рядом с образцом со стороны источника на границе области измерений, так чтобы самая тонкая проволока или ступенька были ориентированы к внешнему краю плёнки.

Если поверхность образца, обращённая к источнику излучения, недоступна, ИКИ может быть размещён со стороны плёнки и помечен буквой F, расположенной рядом с ИКИ.



ИКИ оценивается визуально в величинах толщины самой тонкой ступени или проволоки, различимой на рентгенограмме. Для выражения индекса качества используются различные методы, обычно чувствительность выражается как процентное соотношение от толщины проникновения.

В настоящее время этот метод в большинстве современных стандартов заменён — в качестве индекса качества используется номер проволоки или ступеньки.

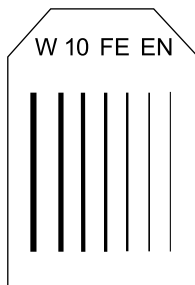
## Стандарт EN 462 – 1 — тип проволочный

Этот стандарт предлагает конструкцию ИКИ в вариантах исполнения проволоки из меди, стали, титана и алюминия, из проволок трёх вариантов длины — 10, 25 и 50мм, в диапазоне из 19-ти толщин проволоки — от 0.05 до 3.20мм. Проволоки сгруппированы в четыре перекрывающиеся пакета, как это показано в таблице 11.

Диапазон ИКИ — тип проволочный					
W1	W6	W10	W13	номер	диаметр
x				1	3,20
x				2	2,50
x				3	2,00
x				4	1,60
x				5	1,25
x	x			6	1,00
x	x			7	0,80
	x			8	0,63
	x			9	0,50
	x	x		10	0,40
	x	x		11	0,32
	x	x		12	0,25
		x	x	13	0,20
		x	x	14	0,16
		x	x	15	0,125
		x	x	16	0,100
			x	17	0,080
			x	18	0,063
			x	19	0,050

Таблица 11 Номера проволок и их диаметры в мм

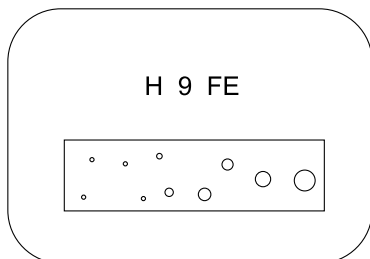
Каждый ИКИ обозначается по стандартному формату:  
**ИКИ EN 462 – W 10 FE 50** или сокращённо **W 10 FE EN**.



Это означает: стальной (FE), проволочный (W) ИКИ с проволоками, длиной 50мм, имеющими номера от 10 до 16 (соответственно, толщины от 0.40 до 0.10мм)

### Стандарт EN 462 — тип ступеньки/отверстия

Этот стандарт предлагает конструкцию ИКИ в вариантах исполнения из меди, стали и алюминия.

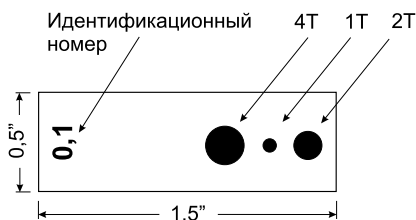


Каждый ИКИ обозначается по стандартному формату: ИКИ EN 462 – H 5 FE — это ИКИ, имеющий ступеньки/отверстия в диапазоне от 5 до 10.

Диапазон ИКИ типа ступеньки/отверстия					
H1	HJ5	H9	H13	номер	диаметр
x				1	0,125
x				2	0,16
x				3	0,20
x				4	0,25
x	x			5	3,32
x	x			6	0,40
	x			7	0,50
	x			8	0,63
	x	x		9	0,80
	x	x		10	1,00
		x		11	1,25
		x		12	1,60
		x	i	13	2,00
		x	i	14	2,50
			i	15	3,20
			i	16	4,00
			i	17	5,00
			i	18	6,30
i — используется в особых случаях					

Таблица 12 Размеры отверстий шаблона в мм

## A.S.T.M. код — E142-68



Эти ИКИ (пенетromетры) систему обозначений A.S.M.E. и A.P.I. — здесь идентификационный номер указывает на толщину, выраженную в тысячных долях дюйма. Диаметры имеющихся в таком ИКИ отверстий кратны толщине ИКИ (1х, 2х и 4х), начиная с ряда диаметров .040", .020" и .010". Если толщина сварного шва и пластины различаются, то прокладка из материала, аналогичного тому, из которого изготовлены ИКИ, устанавливается под ИКИ — для того, чтобы уравнивать толщины. Стандартные прокладки имеют толщины в .0625" и .125". Там, где плотность изображения ИКИ на рентгенограмме отличается от изображения прилегающего к ИКИ исследуемого образца на более чем -15% или на более чем +30%, следует использовать два ИКИ.

Пенетрометр		Минимальная толщина образца (дюймы)			Диаметр отверстий (дюймы)		
№ лунки	Толщина (дюймы)	2-1Т	1-1Т	4-2Т	4Т	1Т	2Т
		2-2Т	2-*Т				
		2-4Т					
5	,005	,25	,50	,125	,040	,010	,020
7	,0075	,35	,70	,175	,04	,01	,02
10	,01	,50	1,0	,25	,04	,01	,02
12	,012	,652	1,25	,312	,048	,012	,024
15	,015	,75	1,5	,375	,060	,015	,30
17	,175	,95	1,71	,425	,068	,017	,34
20	,20	1,0	2,0	,5	,08	,02	,04

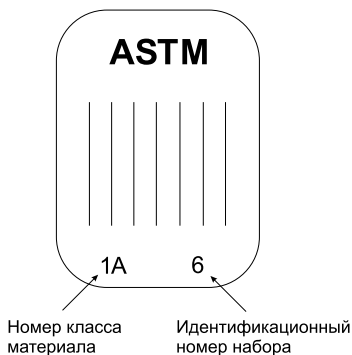
**Таблица 13**

Нормальные уровни качества	Толщина пенетromетра как доля толщины образца	Минимально допустимый диаметр отверстия
2-1Т	1/50	1Т
2-2Т	1/50	2Т
2-4Т	1/50	4Т
Специальные уровни качества		
1-1Т	1/100	1Т
1-2Т	1/100	2Т
4-2Т	1/25	2Т

**Таблица 14**

## A.S.T.M. E747 – 1997

Детально описывает набор ИКИ проволочного типа и дает полезные данные по методам сопоставления чувствительностей различных типов ИКИ.



№ класса	Материал
000	Магний
00	Алюминий
0	Титан
1	Углеродистая и нержавеющие стали
2 – 5	См. приложение к стандарту ASTM E142, где приводятся полные характеристики материалов

**Таблица 15** Класс материала

Диаметры проволоки в мм			
Набор А	Набор В	Набор С	Набор D
0,08	0,25	0,81	2,50
0,10	0,33	1,02	3,20
0,13	0,40	1,27	4,06
0,16	0,51	1,60	5,10
0,20	0,64	2,03	6,40
0,25	0,81	2,50	8,00

**Таблица 16** A.S.T.M. 747 Диаметры проволоки в мм

### Оценка рентгенограмм

1. Определите исследуемую зону.
2. Удостоверьтесь, что выбранный вами ИКИ изготовлен из материала нужного вам типа и имеет подходящий диапазон толщин проволоки.
3. Удостоверьтесь, что ИКИ размещён правильно.
4. Прочтите диаметр, указанный на самой тонкой видимой ступеньке или проволоке.

Заметьте: Чувствительность всегда следует описывать, как лучшую или худшую и никогда, как «высокую» или «низкую», т.к. эти термины — двусмысленны.

## Радиографические коэффициенты эквивалентности

Коэффициенты эквивалентности используются для вычисления эквивалентных толщин стали.

Чтобы вычислить эквивалентную толщину стали, умножьте толщину материала на коэффициент эквивалентности из таблицы, приведённой ниже.

Пример: коэффициент эквивалентности меди, как следует из приводимой ниже таблицы, при 150кВ равен 1.6. Чтобы найти толщину стали, эквивалентную 12мм меди, нужно 12 умножить на 1.6.

$$12 \times 1.6 = 19.2\text{мм}$$

Приблизительные радиографические коэффициенты эквивалентности					
Материал	100кВ	150кВ	200 – 400кВ	Ir <sup>192</sup>	Co <sup>60</sup>
Магний	0,05	0,05	0,08		
Алюминий	0,08	0,12	0,18	0,35	0,35
Сплав алюминия 2024	0,013	0,16	0,22	0,35	0,35
Титан	0,50	0,45	0,35		
Стали	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Медь	1,5	1,6	1,4	1,1	1,1
Цинк		1,4	1,3	1,1	1,0
Латунь		1,4	1,3	1,1	1,1
Инконель	1,4	1,4	1,4	1,3	1,3
Цирконий		2,3	2,0		
Свинец			12	4,0	2,3
Уран			25	12,6	3,4

Таблица 17

## Как нас найти

За дополнительной информацией, а также по вопросам приобретения продукции фирмы Kodak, обращайтесь в компанию Аргус Лимитед — официального представителя фирмы Kodak в России.

### **Аргус Лимитед, Москва**

(Представительство в России)

Россия, 125040, Москва,

ул. Скаковая, д. 9, этаж 4

Тел: (095)945-2777, 945-2778, 945-2779

Факс: (095)945-2765

Email: [argcis@arguslimited.com](mailto:argcis@arguslimited.com)

## **О компании Аргус Лимитед**

Компания Аргус Лимитед (закрытое акционерное общество) была основана в 1981 году в Вашингтоне, США. В 1983 году был открыт Британский отдел компании, в 1985 году — отделение во Франции, а чуть позже и в Болгарии. В настоящее время компания имеет свои представительства — непосредственно или через партнёрские компании — в Москве, Краснодаре, Екатеринбурге, Алма-Аты, Баку, Братиславе, Лондоне и т.д. Штаб-квартира компании находится в г. Роквилл (пригород Вашингтона).

Сотрудники компании имеют специальную инженерную и коммерческую подготовку, а также сертификацию по ряду технологий в соответствии с требованиями API (American Petroleum Institute — Американский Нефтяной Институт).

Отличительной особенностью компании Аргус является то, что она выступает как системный интегратор для многих проектов нефтегазовой отрасли. Мы предоставляем нашим заказчикам полный комплекс услуг — от создания технических проектов до поставки выбранной заказчиком техники, проведения монтажных и пусконаладочных работ, включая и обручение персонала, обеспечение технической поддержки на всех этапах проекта.

Полный перечень техники, предлагаемой компанией Аргус, занимает многие тома. Один из разделов данного перечня посвящён оборудованию и материалам для неразрушающего контроля качества. Некоторые позиции этого раздела перечислены в Приложении к данному буклету.

## Приложение

### Оборудование и материалы для неразрушающего контроля качества

- ◆ Полустационарные и передвижные рентгенографические лаборатории контейнерного типа с комплексом проявочного и лабораторного оборудования для проведения работ по контролю качества на строительных площадках, в строительных городках и в автономном режиме;  
— размеры и комплектация определяются, исходя из особенностей каждого проекта.
- ◆ Мобильные лаборатории для проведения неразрушающего экспресс-контроля качества, предназначенные для выезда к месту проведения работ и предварительной обработки результатов;  
— выполняются на базе импортных и отечественных автомобилей;  
— оснащены всем необходимым оборудованием и приспособлениями для транспортировки кроулера и рентгеновских аппаратов;  
— могут быть укомплектованы ручными либо автоматическими проявочными машинами и необходимым лабораторным оборудованием для обработки результатов контроля качества.
- ◆ Самоходные внутритрубные рентгеновские установки (кроулеры) для контроля качества сварных швов трубопроводов.  
Портативные рентгеновские аппараты панорамного и направленного действия.  
Приборы обеспечения безопасности, измерительные приборы, дозиметры, знаки радиационной безопасности.
- ◆ Материалы для проведения работ по контролю качества с помощью пенетрантных жидкостей.  
Эндоскопы для визуального определения и оценки дефектов в недоступных местах (трубопроводы, камеры сгорания, турбины, насосы, теплообменники, строительные конструкции).  
Токовихревые дефектоскопы для обнаружения поверхностных трещин.  
Цветная и проникающая дефектоскопия для поиска трещин на различных материалах.  
Спектрометры для химического анализа сплавов.  
Системы для обследования состояния заглублённых трубопроводов и оценки состояния электрохимической защиты.



- ◆ Промышленная рентгеновская плёнка, химикаты, автоматические проявочные машины.  
Негатоскопы.  
Ручные проявочные машины.  
Сушильные шкафы и прочее лабораторное оборудование.
- ◆ Портативные ультразвуковые дефектоскопы и толщиномеры.  
Преобразователи (датчики).  
Автоматизированные ультразвуковые комплексы для контроля качества сварных швов при сооружении трубопроводов.
- ◆ Приборы для контроля качества изоляционных покрытий.  
Приборы контроля сплошности изоляции (Holiday-детекторы).  
Адгезиметры.  
Толщиномеры.  
Приборы контроля подготовки поверхности.
- ◆ Оборудование и технологии для комплексной инспекции газонефтепроводов, хранилищ и резервуаров методами акустической эмиссии и магнитографическим методом — без вывода инспектируемых объектов из эксплуатации.

**Отпечатано по заказу компании Аргус Лимитед**



**125040, Россия, Москва,  
ул. Скаковая, д. 9, этаж 4;  
Тел: (095) 945-2777/78/79;  
Факс: (095) 956-2765;  
Email: [argcis@arguslimited.com](mailto:argcis@arguslimited.com)**