

ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

Утверждаю:

Зам. директора института
к.т.н.

н/н В.И. ПРОКОФЬЕВ

* 29 * август 1980 г.

РУКОВОДСТВО
ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ СОПРОТИВЛЕНИЯ УДАРУ
ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

Р 381-80

Заведующий лабораторией
физико-химических исследований изоляционных по-
крытий и конструкций
д.х.н., профессор
Р.Л. А.Т. САНКАРОВСКИЙ
ст. научн. сотр., к.т.н.,
Л.Панфёрова А.И. ПАНФЁРОВА

Настоящее руководство содержит способ, устройство и методику определения ударной прочности защитных антикоррозионных покрытий магистральных трубопроводов на образцах-пластинах, на образцах-трубках, и на натурной трубе, при температуре окружающей среды.

В основу руководства, разрабатываемого впервые, положено сформулированное авторами понятие ударной прочности защитных покрытий магистральных трубопроводов. Это понятие определяет ударную прочность как энергию разрушения изоляции при прямом центральном ударе в условиях жесткости соударения, адекватных реальным.

Руководство составлено по результатам научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ^{*}, проведенных в лаборатории физико-химических исследований изоляционных покрытий и конструкций, Цыворской опытно-экспериментальной базы и Специального проектно-конструкторского отдела ВНИИСТА.

Авторы руководства - А.М. Зиневич (к.т.н.), А.Т. Санкарский (д.х.н.), А.И. Панфёрова (к.т.н.), инженеры: Г.В. Асадчева, О.И. Баева, О.Д. Кованов, Л.С. Шевела, Н.Н. Потехин.

* Экспериментальная часть работы выполнялась при участии З.Я.Андреевой, Т.В. Кубаревой, Н.В. Тяпкина.

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

С расширением географии сооружения магистральных трубопроводов от южных районов страны до крайнего севера, с сдвигом границ сезонности проведения строительных работ, а также с развитием базово- заводской технологии изоляции острее встал вопрос об улучшении механических свойств изоляционных материалов, используемых для защиты трубопроводов от коррозии. Одним из главных в ряду показателей физико-механических свойств покрытий является показатель их сопротивления удару, ударным нагрузкам.

Ударным воздействиям антикоррозионные покрытия подвергаются при транспортно-складских операциях с изолированными трубами, а также в момент опуска трубопроводных пилетов в траншее и их засыпки грунтом. Энергия удара при этом может достигать 140 Дж и более.

В связи с сложностью ударного явления, которое в случае защитных покрытий на трубопроводе ещё более усложняется вследствие большого разнообразия физико-механических свойств используемых изоляционных материалов, необходимо, чтобы испытание этих материалов на прочность при ударе проводилось в условиях, близких к реальным условиям эксплуатации.

Существующие в стране нормативы на антикоррозионные покрытия по критерию их ударной прочности разработаны, главным образом, на основании результатов исследования этого свойства по методике ГОСТ 4765-73. По этому методу ударную прочность покрытия определяют путем пластического деформирования тонкой (0,8-1,0мм) изолированной пластины при ударе (рис. Iа). Модель гостированного способа не отражает реальных условий соударения изоляции на трубе((трубопроводе), так как пластическая деформация стенки трубы не допускается.

Механическая прочность материала изоляции всегда ~~имеет~~ ниже механической прочности металла. Поэтому при ударных нагрузках, воспринимаемых изолированной трубой (трубопроводом), покрытие всегда играет роль поглотителя вплоть до своего разрушения.

Таким образом, в реальных условиях разрушения защитных покрытий на изолированной трубе (трубопроволе) происходит по тому ударного внедрения. Для него характерно совпадение максимума ударного импульса с максимумом местной контактной деформации. Максимум последней связан с моментом разрушения покрытия, который, в свою очередь, обусловлен видом материала изоляции, его физическим состоянием и толщиной слоя.

Если при испытании антикоррозионных покрытий на прочность при ударе не обеспечиваются условия ударного внедрения, то один и тот же изоляционный материал, в одном и том же физическом состоянии, в зависимости от кинетической жесткости соударения, обладает различным сопротивлением ударному разрушению. Это объясняется тем, что с изменением жесткости соударения меняется тип ударного разрушения.

Пример зависимости прочности при ударе различных изоляционных покрытий от жесткости соударения при испытании иллюстрирует рис. I. Испытания проводили в условиях возможного смещения соударяющихся элементов. Схема соударения показана на рис. I.а. При этом жесткость соударения, как аргумент, меняли путем изменения толщины изолированной пластины-образца.

Из рис. I видно, что для всех покрытий функция $U(t)$ имеет максимум. Более ^{мн} этого максимума и его положение на оси t — оси изменения толщины образца-пластины различны для каждого покрытия.

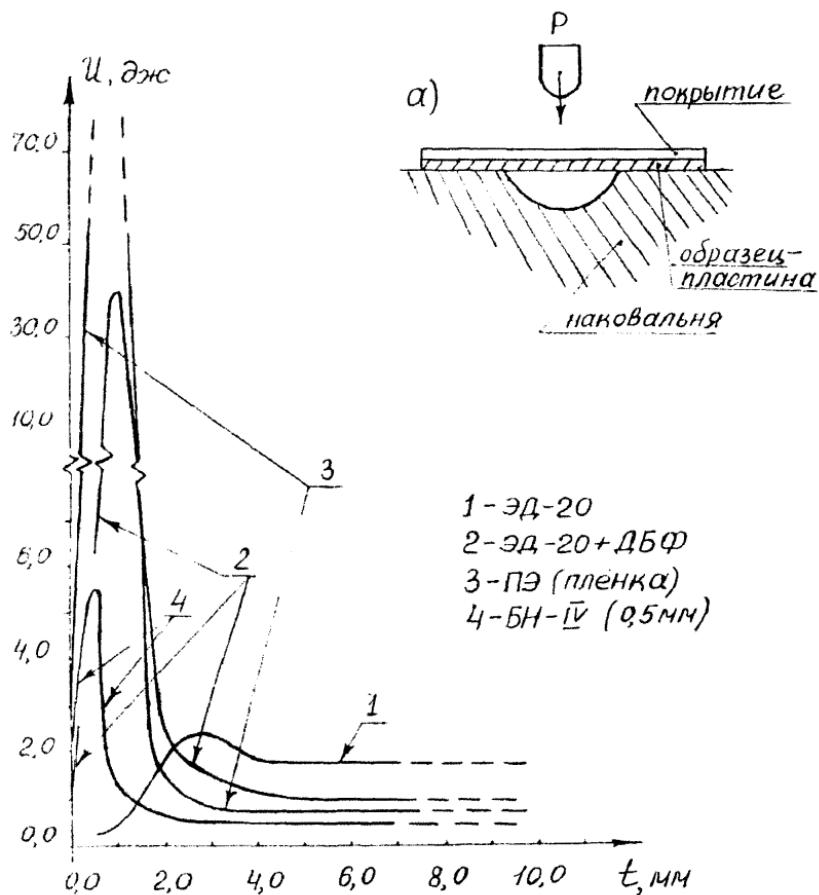


Рис. 1

ВЛИЯНИЕ АБСОЛЮТНОСТИ СОУДАРЕНИЯ НА ПОКАЗАНИЯ

ЭКСПРЕСС-РАЗРУШЕНИЯ ПОЛЯРИТИ ПРИ УДАРЕ.

а/ схема соударения.

Обычно для всех материалов является то, что их показатели энергии разрушения остаются практически неизменными при изменении толщины пластины 4,0 мм и более, когда в процессе соударения практически отсутствует смещение соударяющихся элементов. В этих условиях покрытие разрушается по типу ударного внедрения.

Уменьшение толщины изолированной пластины влечет за собой смещение соударяющихся элементов, изменяя характер (тип) разрушения покрытия при ударе и приводит к повышению или к понижению показателя сопротивления изолированной ударным нагрузкам. И если изоляционное покрытие эластичное, то чем большей гибкостью обладает защищаемая конструкция (чем меньше толщина пластины), тем больше отклонения в показателях ударной прочности в сторону затяжения по сравнению с разрушением по типу ударного вадрения. Так для изоляционной ленты (кривая 3) в точке максимума это значение может быть более чем вторую степень. Ударная прочность в этой точке ($U(4,0) > 60$ дж) более чем в 100 раз выше $U(4,0), U(6,0) \dots \simeq 0,6$ дж.

В случае эпоксидного непластифицированного покрытия, склонного к хрупкому разрушению (кривая 1), ударная прочность в точке максимума ($U(2,0) \simeq 3,0$ дж) только в полтора раза больше, чем в точках $t \geq 4,0$ мм. Но для этого покрытия характерно и понижение энергии разрушения с уменьшением толщины образца-пластины. У него $U(1,0)$ меньше $U(4,0), U(6,0) \dots$ более чем в три раза.

Таким образом, если изоляционные материалы испытывать по ГОСТ 4765-73, т.е. на пластинах 0,8-1,0 мм и по схеме соударения рис. I,а), то полученные результаты не могут быть исполь-

зованы для оценки истинного сопротивления удару антикоррозионного покрытия на магистральных трубопроводах. Защитные покрытия на магистральных трубопроводах разрушаются при ударе только по типу ударного внедрения, и условия их испытания должны обеспечить именно этот вид разрушения.

На рис. I этот тип разрушения характеризуют те участки кривых зависимости ударной прочности от толщины подложки, когда ее толщина не уменьшается менее 4,0 мм. Показатели энергии разрушения в этих точках существенно (на величину до двух порядков) отличаются от показателей в точках, где проявляется пластический прогиб пластины-подложки.

Требуемые условия соударения обеспечивает разработанный авторами способ определения прочности покрытий при ударе. Способ отличается тем, что его физическая модель УТ-І характеризуется достаточной степенью соответствия реальным условиям соударения изоляции на трубе.

2. УСТАНОВКА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УДАРНОЙ ПРОЧНОСТИ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ У Т - І

2.1. Конструкция УТ-І позволяет определять ударную прочность защитных покрытий на трубчатом образце (рис.2), на образце-пластиине (рис.4) и на натурной трубе (рис.5).

Соударяющимися элементами при этом являются: покрытие на образцах (на трубе)-І и боец-2 свободно падающего груза.

Исключение смещения соударяющихся элементов достигают в случае трубчатого образца (рис.2) плотной посадкой его на стальную оправку, жестко закрепленную на опорах 3.

При использовании пластинчатого образца (рис.4) последний (I) жестко закрепляется на плоской юковальной 3, смонтированной так, что возможно ее лишь вынужденное горизонтальное перемещение с помощью упорного винта 8.

Без тихальность свободного падения ударающего груза обеспечивает направляющий цилиндр 4, который винтом 5 закрепляют на опоре 6 с возможностью вертикального перемещения только в момент настройки УГ-1 к работе.

Все детали УГ-1 смонтированы на стальной плате 7, устанавливаемой при монтаже неподвижно жестко на бетонном фундаменте.

2.2. Техническая характеристика УГ-1

| | | |
|---|----|----------------------|
| Температура испытания | К | 233... 313 |
| Высота подъема груза, | мм | 0,5; 10 700 |
| Масса груза | кг | 0,25; 0,5; 6,0 |
| Радиус сферы бойка | мм | 8,0 |
| Твердость стали бойка с штучным образцом | | не ниже 60 HRC |
| а) трубка: | | |
| длина | мм | 200 |
| внутренний диаметр | мм | 52H11 |
| толщина стенки | мм | не менее 2,5 |
| б) пластина: | | |
| длина | мм | 00 |
| ширина | мм | 150 |
| толщина | мм | не менее 4,0 |
| в) квадратная труба, трубопровод: | | |
| дим. стр | мм | 325 1420 |

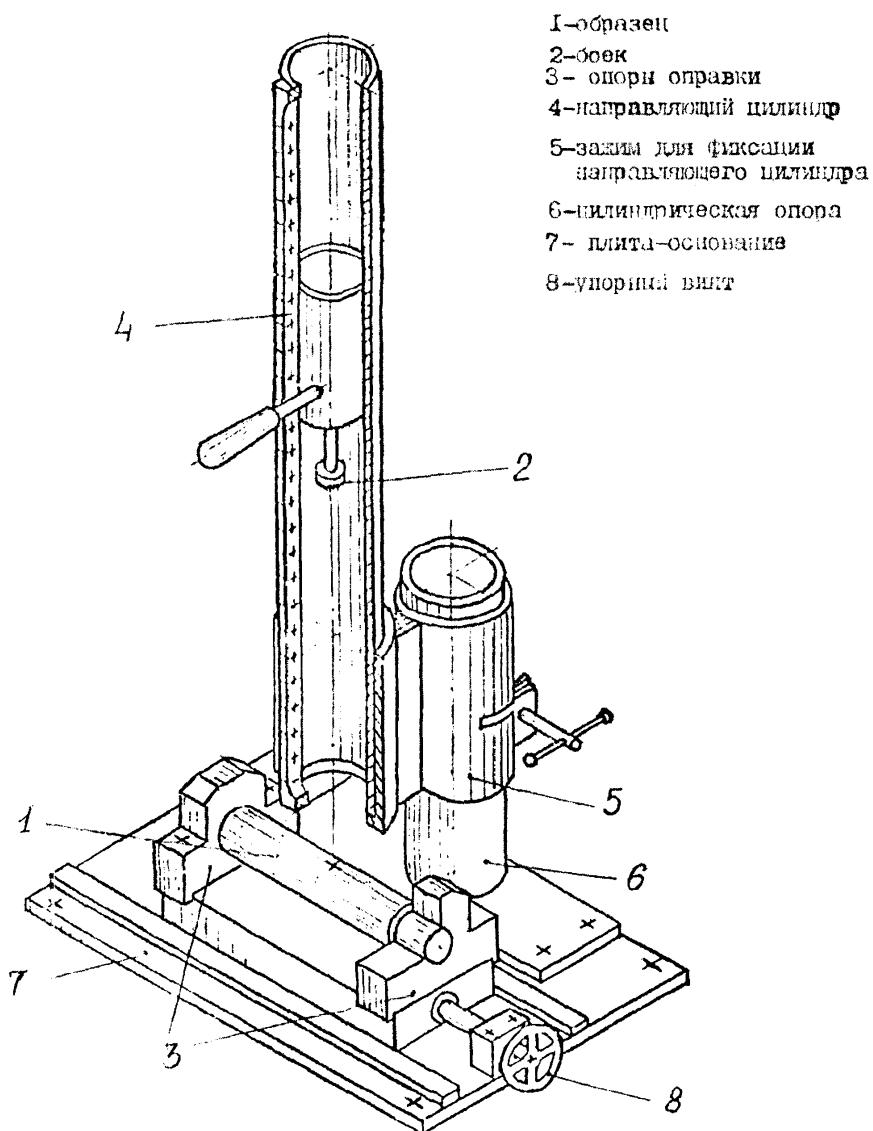


Рис.2

ИСПЫТАНИЕ ПОКРЫТИЯ НА ТРУБЧАТОМ ОБРАЗЦЕ

УТ-1 устанавливают на бетонном фундаменте с соблюдением строгой вертикальности направляющего цилиндра.

2.3. Образцы для испытания.

В зависимости от вида покрытия и способа его нанесения, используемые образцы могут быть: в виде пластин, трубок, а также в виде отрезков из натурных труб размером 150x200 в проекции.

Подготовка поверхности образцов перед нанесением изоляции должна соответствовать подготовке поверхности металла изолируемой трубы (трубопровода).

Способ и условия нанесения покрытия на образец должны соответствовать технологиям изоляции трубы (трубопровода).

Образцы перед испытанием выдерживают в течение времени, обусловленного типом покрытия для релаксации напряжений, возникающих при его формировании.

3. ПРОВЕДЕНИЕ ИСПЫТАНИЙ

3.1. Испытание покрытия на образцах-трубках (рис.2).

3.1.1. При помощи толщинометра МТ ЗИН, МТ З2Н, МТ ЗЗН измеряют толщину покрытия не менее чем в трех точках по образующей и не менее чем в четырех точках по окружности, т.е. не менее чем в четырех точках (3x4=12) образца и вычисляют среднее значение толщины.

3.1.2. Образец размечают на точки для удара, помещают на опорку как показано на рис. 2 и жестко закрепляют в опорах З.

Расстояние от края образца до точки удара и между точками должно быть не менее 30(мм). В случае хрупкого разрушения покрытия, с образованием трещин и сколов, последующие удары наносят в

II.

точках на расстоянии не менее 50 мм от образовавшейся трещины или скола).

С помощью передвижных опор 5-6 устанавливают направляющий цилиндр 4 так, чтобы ударяющая поверхность бойка 2 свободно касалась покрытия при нулевой отметке на шкале высоты падения груза.

3.1.3. По номограмме рис.3 подбирают массу груза, зная предполагаемую ударную прочность покрытия.

В случае, когда предполагаемая ударная прочность изоляции неизвестна, массу груза подбирают следующим образом. Путем постепенного приближения определяют наибольшую массу груза P_{max} , при которой покрытие еще не нарушено, и минимальную P_{min} , разрушающую покрытие с высоты $h = 25$ см. Разность между этими массами ΔP не должна превышать 0,5 кг при $U \leq 5,0$ Дж и 1,0 кг при $U > 5,00$ Дж.

Разрушение покрытия фиксируют искровым дефектоскопом при напряжении 6 кВ на 1 мм толщины изоляции.

Допускается метод контактного контроля сплошности посредством сжатия окрестности точки удара электролитом.

3.1.4. Лифтным по номограмме рис.4 грузом либо подобранным по 3.1.3. $P_{max} + \frac{\Delta P}{2}$ (или $P_{min} - \frac{\Delta P}{2}$) ведут собственно испытания, меняя высоту падения груза в пределах 20-30 см, с интервалом $4h = 0,5$ см. Энергию удара в протоколе испытания фиксируют по точкам разрушения и неразрушения, как показано на примере в таблице I: "да" - "выдержало", "нет" - "не выдержало".

3.2. Испытание покрытия на образцах-пластинах (рис.4).

3.2.1. Измерят толщину покрытия не менее чем в десяти точках и вычисляют среднее значение толщины \bar{d} .

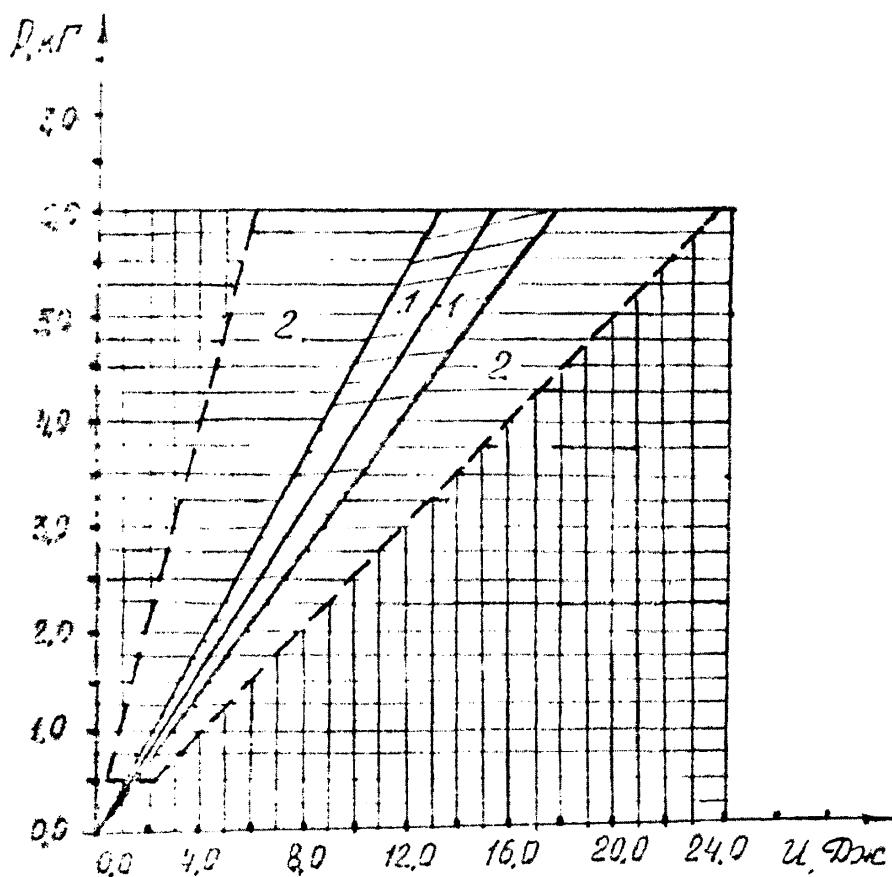


Рис. 3.

НОМОГРАММА ДЛЯ ВЫБОРА УДАРНОГО ГРУЗА

1-1 – рабочая зона. 2-2 – допустимая зона

13.

Таблица I

Номерок зачера энергии разрушения
(κ - число шагов, P - вес груза).

Материал покрытия - ПЭИЛ

Толщина покрытия $\sigma = 0,90$ -I, II мм; $\sigma = 1,02$ мм

| Номер образ- ца | Угол п/п | Р, кг | $\kappa_{\text{раб}}$ см | Несущая способность "да" ! "нет" | U_n | \bar{U} | σ | U_n | Примеча- ние |
|-----------------------|-------------|----------|-----------------------------|--|-------|-----------|----------|-------|--|
| | | | | | | | | | Разрушение |
| | I | 1,5 | 13,0 | да | 19,5 | | | | |
| | 2 | 1,5 | 13,5 | да | 20,2 | | | | |
| | 3 | 1,5 | 14,0 | да | 21,0 | | | | |
| | 4 | 1,5 | 14,5 | да | нет | 21,7 | | | |
| | 5 | 1,5 | 14,0 | | нет | 21,0 | | | |
| | 6 | 1,5 | 13,5 | да | | 20,2 | | | |
| | 7 | 1,5 | 14,0 | | нет | 21,0 | | | |
| | 8 | 1,5 | 13,5 | | нет | 20,2 | | | |
| | 9 | 1,5 | 13,0 | | нет | 19,5 | | | |
| I39 | 10 | 1,5 | 12,5 | да | 18,7 | 19,74 | 0,95 | 19,35 | Разрушение по- крития взко- упруг. |
| | II | 1,5 | 12,0 | | нет | 19,5 | 0,47 | 1,08 | 19,99 |
| | 12 | 1,5 | 12,5 | | нет | 18,7 | | | |
| | 13 | 1,5 | 12,0 | | | 18,0 | | | |
| | 14 | 1,5 | 12,5 | | | 18,7 | | | |
| | 15 | 1,5 | 12,0 | да | | 19,5 | | | |
| | 16 | 1,5 | 13,5 | да | | 20,2 | | | |
| | 17 | 1,5 | 14,0 | | нет | 21,0 | | | |
| | 18 | 1,5 | 13,5 | да | | 20,2 | | | |
| | 19 | 1,5 | 14,0 | да | | 21,0 | | | |
| | 20 | 1,5 | 14,5 | | нет | 21,7 | | | |

Приложение: Глубину показатель означает:
в час. итоге - энергия первоизрещения,
в энс. итоге - энергия разрушения.

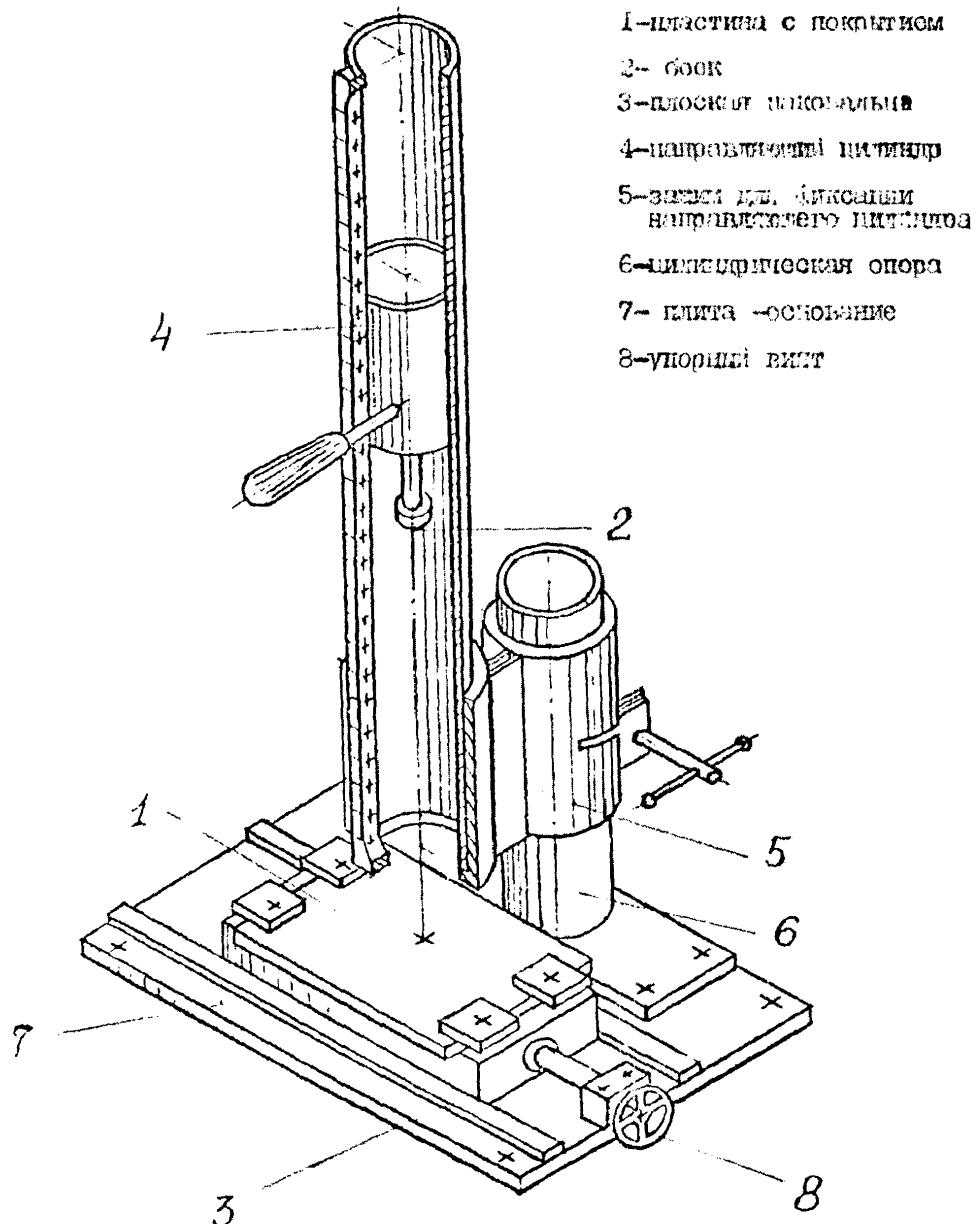


Рис.4.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКРЫТИЯ НА СТРУКТУРУ ПЛАСТИКИ

3.2.2. Образец размещают на точки для удара аналогично п. 3.1.2. и жестко закрепляют на плоской направляльне, как показано по рис.5. С помощью переносных опор 5-6 опускают направляющий цилиндр 4 так, чтобы удерживаемая поверхность бойка 2 свободно касалась покрытия при нулеевой отметке на шкале высоты падения груза.

3.2.3. Выбор ударяющего груза, собственно испытания, запись результатов и их обработку проводят как указано в п. 3.1.3 и п. 3.1.4.

3.3. Исследование покрытия на натурной, изолированной трубе (рис.5).

3.3.1. Ударную прочность покрытия на натурной трубе определяют для смены соответствия показателя энергии разрушения $U_{изм}$, требуемому сопротивлению изоляции удару. Для этого выбирают участок (либо участки) на изолированной трубе, характеризуемые визуально наихудшим качеством изоляции и наименьшей толщиной слоя.

Выбранные участки разбивают на точки для удара строго по верхней образующей трубы. Толщину покрытия замеряют в каждой, касательной для удара, точке.

3.3.2. Направляющий цилиндр 4 при помощи переносных опор 3 устанавливают строго вертикально. Возможное отклонение от вертикали не должно превышать 2,0 градуса.

3.3.3. Выбор ударяющего груза и собственно испытания проводят, как описано в п. 3.1.3 и п.3.1.4. В протоколе испытаний отмечают единичные показатели энергии разрушения и определяют ее среднее значение. Оно должно быть не менее $1,15 U_{tr}$ (требуемого), т.е.

$$\frac{U_{изм}(\text{измеренное})}{U_{tr}(\text{требуемое})} \geq 1,15 \quad (1)$$

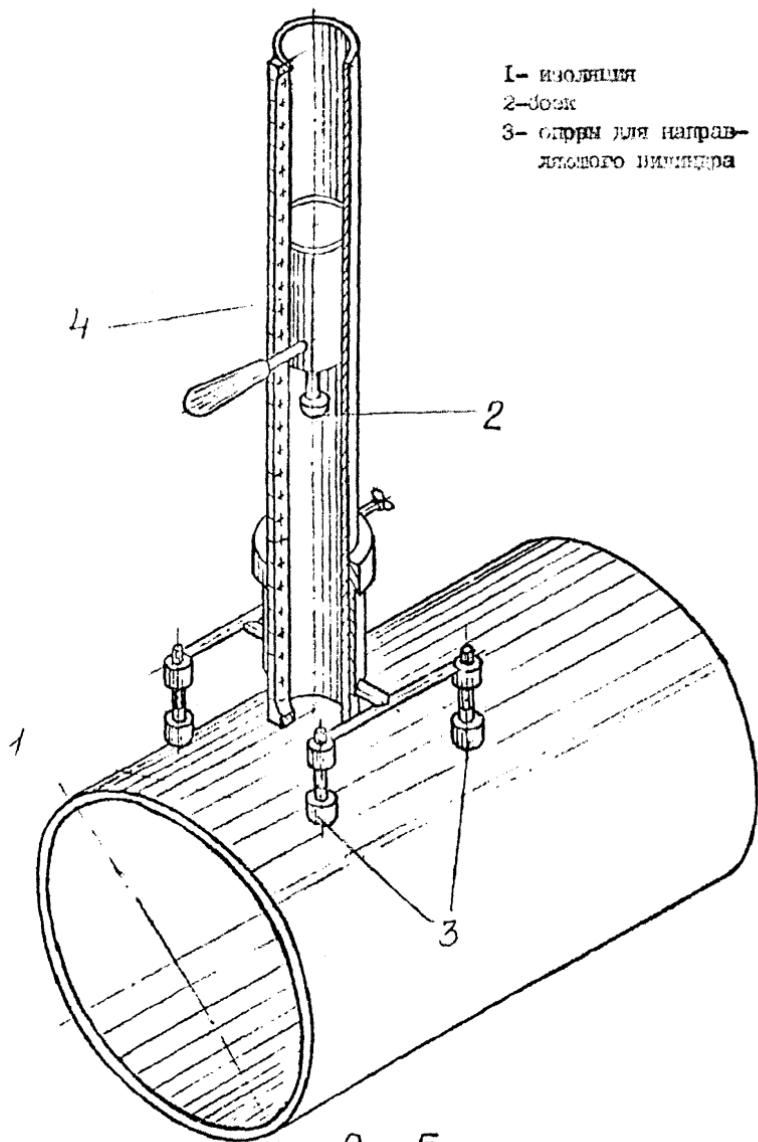


Рис. 5.

ПРИСТАВКА ПО РИСУНКУ НА НАТУРНОЙ ТРУБЕ /ТРУБОРОЗДЕВ/

4. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

4.1. Делают выборку разрушенной ("нет") и неразрушенной ("да") из общего числа ударов по образцам-близнецам.

4.2. Для каждой выборки определяют среднее арифметическое значение энергии разрушения (неразрушения) \bar{U} по формуле:

$$\bar{U} = \frac{1}{n} (U_1 + U_2 + U_3 + \dots + U_n) \quad (2)$$

где: n - количество точек в выборке (по "да" или "нет");

$U_1, U_2, U_3, \dots, U_n$ - единичные значения энергии разрушения (неразрушения) в каждой точке.

4.3. Определяют среднее квадратичное отклонение по формуле

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} [(U_1 - \bar{U})^2 + (U_2 - \bar{U})^2 + (U_3 - \bar{U})^2 + \dots + (U_n - \bar{U})^2]} \quad (3)$$

где: S - выборочный параметр для определения квадратического отклонения

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} [(U_1 - \bar{U})^2 + (U_2 - \bar{U})^2 + (U_3 - \bar{U})^2 + \dots + (U_n - \bar{U})^2]} \quad (4)$$

$U_1, U_2, U_3, \dots, U_n$ - то же, что в п. 4.2;

K - определяют по табл. 2, в зависимости от количества точек в выборке - n .

4.4. Определяют нижнюю доверительную границу для ~~верхней~~ генеральной средней U_H по формуле:

$$U_H = \bar{U} - l \cdot S \quad (5)$$

где S - то же, что в п. 4.3;

l - определяют по табл. 2, в зависимости от количества точек в выборке - n .

Таблица 2

Сложные коэффициенты k и ℓ
в зависимости от числа точек в выборке $- n$

| n | k | ℓ | n | k | ℓ |
|-----|-------|--------|-----|-------|--------|
| 2 | 1,253 | 2,18 | 14 | 1,019 | 0,368 |
| 3 | 1,123 | 1,03 | 15 | 1,018 | 0,347 |
| 4 | 1,035 | 0,619 | 16 | 1,017 | 0,334 |
| 5 | 1,064 | 0,585 | 17 | 1,016 | 0,324 |
| 6 | 1,051 | 0,562 | 18 | 1,015 | 0,313 |
| 7 | 1,042 | 0,544 | 19 | 1,014 | 0,305 |
| 8 | 1,036 | 0,500 | 20 | 1,013 | 0,296 |
| 9 | 1,032 | 0,466 | 21 | 1,012 | 0,289 |
| 10 | 1,028 | 0,437 | 22 | 1,012 | 0,281 |
| 11 | 1,025 | 0,414 | 23 | 1,011 | 0,275 |
| 12 | 1,023 | 0,401 | 24 | 1,011 | 0,269 |
| 13 | 1,021 | 0,393 | 25 | 1,010 | 0,264 |

5. ФОРМА ИНДАКТИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЯ

5.1. В протоколе испытания отражают: тип покрытия, его краткую характеристику, номера образцов и их размеры, толщину покрытия, температуру образцов при испытании, единичные показатели, квадратичные отклонения, наименьший доверительный уровень, характер разрушения.

5.2. Продолжаемая форма выдачи результатов приведена в табл. 3.

July 1970

Протокол испытаний сварного соединения трубопроводов на прочность при изгибе

| № п/п | Тип изоляции и его особенности (составно) | Тип образца | Состав изоля- ции по тигла- мм | Тол- щина изоля- ции мм | Темп- ера- тура изо- ляции °C | Показатели прочности, МПА | Показатели прочности, МПА | | Примечание | | | |
|----------|--|-------------------------------------|---|-------------------------------------|--|---------------------------|---------------------------|-----------------|---------------------------|-----------------------------|---------------------------|---------------------------------------|
| | | | | | | | σ МПа | σ МПа | | | | |
| 1. | Полиэтилен изолированный | Трубка Ø52 мм =200 мм | 1.0 -1.1 | 28. 02. 78. | 07. 04. 79. | +23 | 42.3 19.2 | 4.14 4.82 | 0.53 0.35 | 39.7 46.9 | 3.39 4.80 | После ста- рения в эла- стичных |
| 2. | Любимец | Пластич- ные 4x120x150 мм | 3.5 -1.0 | 20. 06. 79. | 03. 07. 79. | +23 | 51.4 53.4 | 5.00 5.21 | 0.49 0.52 | 49.4 51.5 | 4.84 5.04 | Люб- имец |
| 3 | Пленка изоляцион- ная по ГОСТ в два слоя, плен- ка обернута полимер- ной, в два слоя | Натур- альная труба Ø102мм | 1.0 -1.0 | 27. 09.0 79. | 28. 09. 79. | +19 | 34.2 35.6 | 2.33 3.50 | 0.22 ² 0.26 | 33.42 ² 35.81 | 3.27 ² 3.42 | Испытания в похе |

*) При контрольных измерениях с целью оценки соответствия (практической) удельной прочности с требуемой величиной σ_0 можно не ~~заниматься~~ рассчитывать. Соответствие оценивается по соотношению (1).

ПРИЛОЖЕНИЕ

- 8 -

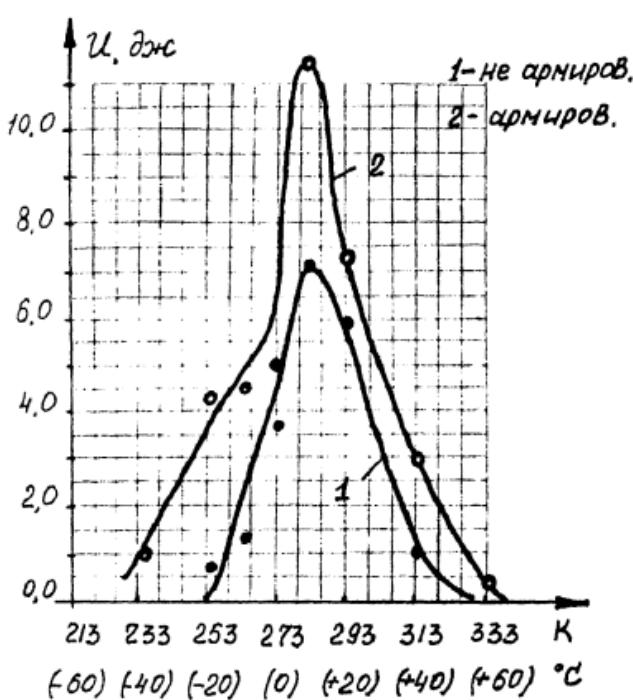


Рис. 4. Влияние температуры на ударную прочность покрытий на основе битума. МБР-90. $\delta = 40 \text{ mm}$

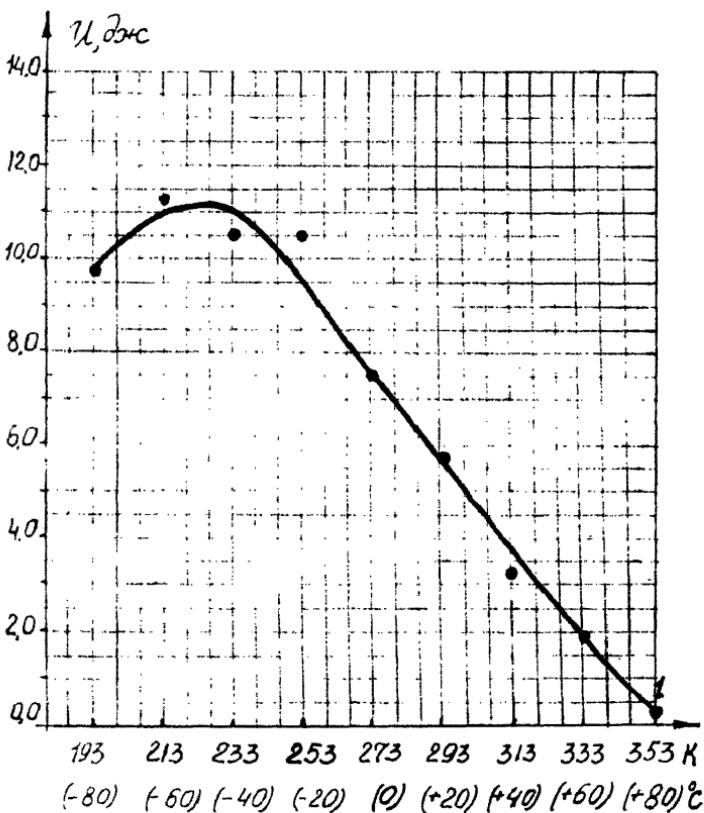


Рис. 8. Влияние температуры на ударную прочность покрытия на основе ПЗ. $\delta = 1,5 \text{ мм}$.

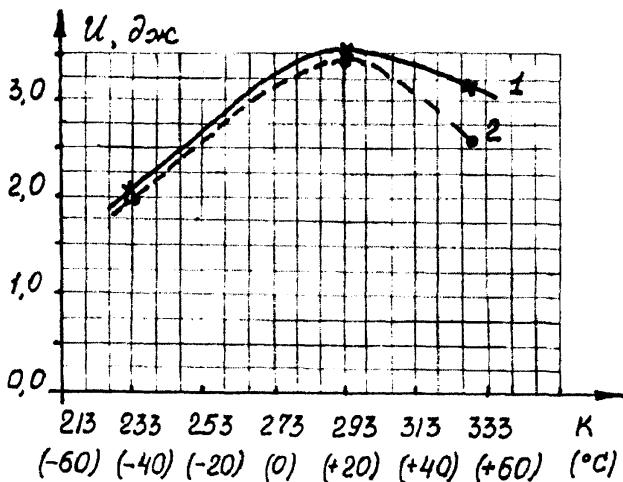


Рис. 3. Влияние температуры на ударную прочность покрытий на основе эпоксидных смол.
 1. Нéп-971 2. Либерт. $\sigma = 0,35 \text{ мм}$