ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

Утверждаю:

Зам. директора института
к.т.н.
В.И. ПРОКОФЬЕВ
"29" января 1980 г.

Р У К О В О Д С Т В О

ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ СОПРОТИВЛЕНИЯ УДАРУ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

Р 381-80

Заведующий лабораторией
физико-химических исследований изоляционных покрытий и конструкций
д.х.н., профессор
А.Т. САНЖАРОВСКИЙ

ст. научн. сотр., к.т.н.,
А.И. ПАНФЁРОВА

gost.e-ecolog.ru

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, Львовской опытно-экспериментальной базы и Специального проектно-конструкторского отдела ВНИИСТа.

Авторы руководства - А.М. Зиневич (к.т.н.), А.Т. Санкаровский (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.

Всесоюзный научно-исследовательский институт по строительству магистральных трубопроводов /ВНИИСТ/, 1989

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 плетей в траншею 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 пластине при ударе (рис.1а). 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 намного ниже механической прочности металла. Поэтому при ударных нагрузках, воспринимаемых изолированной трубой (трубопроводом), покрытие всегда играет роль демпфера вплоть до своего разрушения.

Таким образом, в реальных условиях разрушения защитных покрытий на изолированной трубе (трубопроводе) происходит по типу 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 иных 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. Величина этого максимума U_{max} и его положение на оси t - оси изменения толщины образца-пластины различны для каждого покрытия.

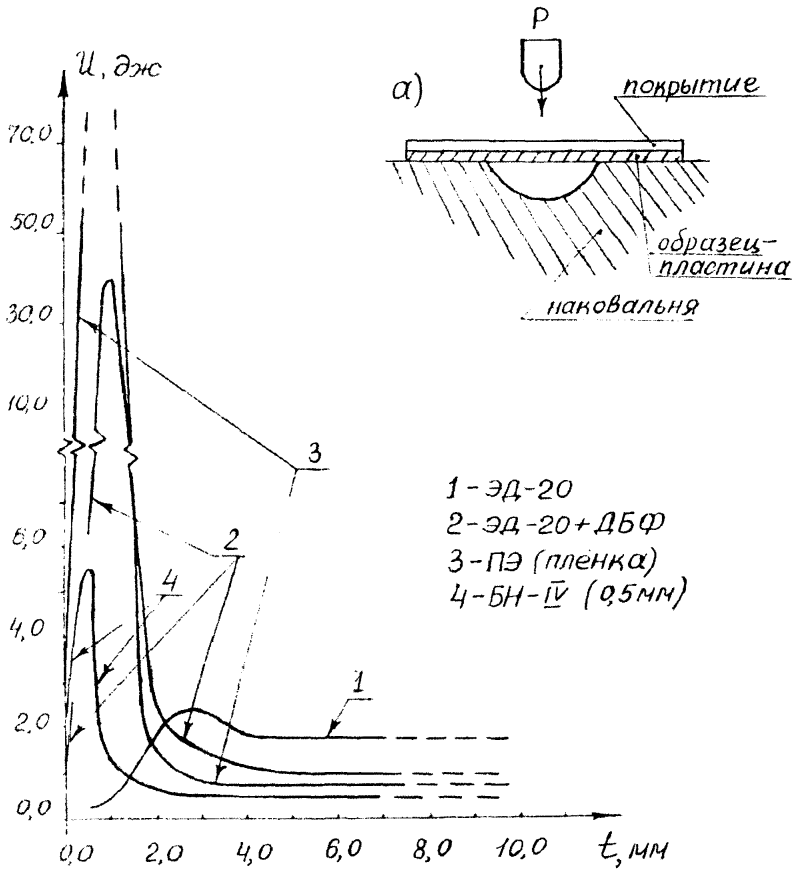

Рис. 1

ВЛИЯНИЕ ЛИПКОСТИ СОУДАРЕНИЯ НА ПОКАЗАТЕЛЬ ЭНЕРГИИ РАЗРУШЕНИЯ ПОКРЫТИЯ ПРИ УДАРЕ.

а/ схема соударения.

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

Уменьшение толщины изолированной пластины влечет за собою смещение соударяющихся элементов, изменяет характер (тип) разрушения покрытия при ударе и приводит к повышению или к понижению показателя сопротивления изоляции 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 завышения по сравнению с разрушением по типу ударного внедрения. Так для изоляционной ленты (кривая 3) в точке максимума это завышение имеет более чем второй порядок. Ударная прочность в этой точке ($U(1,0) > 60$ дж) более чем в 100 раз выше $U(4,0)$, $U(6,0)$ .... $\simeq 0,6$ дж.

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

Таким образом, если изоляционные материалы испытывать по ГОСТ 4765-73, т.е. на пластинах 0,8-I,0 мм и по схеме соударения рис. I,а), то получаемые 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-I характеризуется достаточной степенью соответствия реальным условиям соударения изоляции на трубе.

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

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

Соударяющимися элементами при этом являются: покрытие на образцах (на трубе)-I и боек-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 наковальне 3, смонтированной так, что возможно ее лишь вынужденное горизонтальное перемещение с помощью упорного винта 8.

Вертикальность свободного падения ударного груза обеспечивает направляющий цилиндр 4, который винтом 5 закрепляют на опоре 6 с возможностью вертикального перемещения только в момент настройки УТ-I к работе.

Все детали УТ-I смонтированы на стальной плите 7, устанавливаемой при монтаже неподвижно жестко на бетонном фундаменте.

2.2. Техническая характеристика УТ-I

Температура испытания	К	233... 313
Высота подъема груза,	мм	0; 5; I0 700
Масса груза	кг	0,25; 0,5; 6,0
Радиус сферы бойка	мм	8,0
Твердость стали бойка		не ниже 60 HRC
Ударные образцы:		
а) трубка:		
длина	мм	200
внутренний диаметр	мм	52H11
толщина стенки	мм	не менее 2,5
б) пластина:		
длина	мм	00
ширина	мм	I50
толщина	мм	не менее 4,0
в) натурная труба, трубопровод:		
диаметр	мм	325 ..... I420

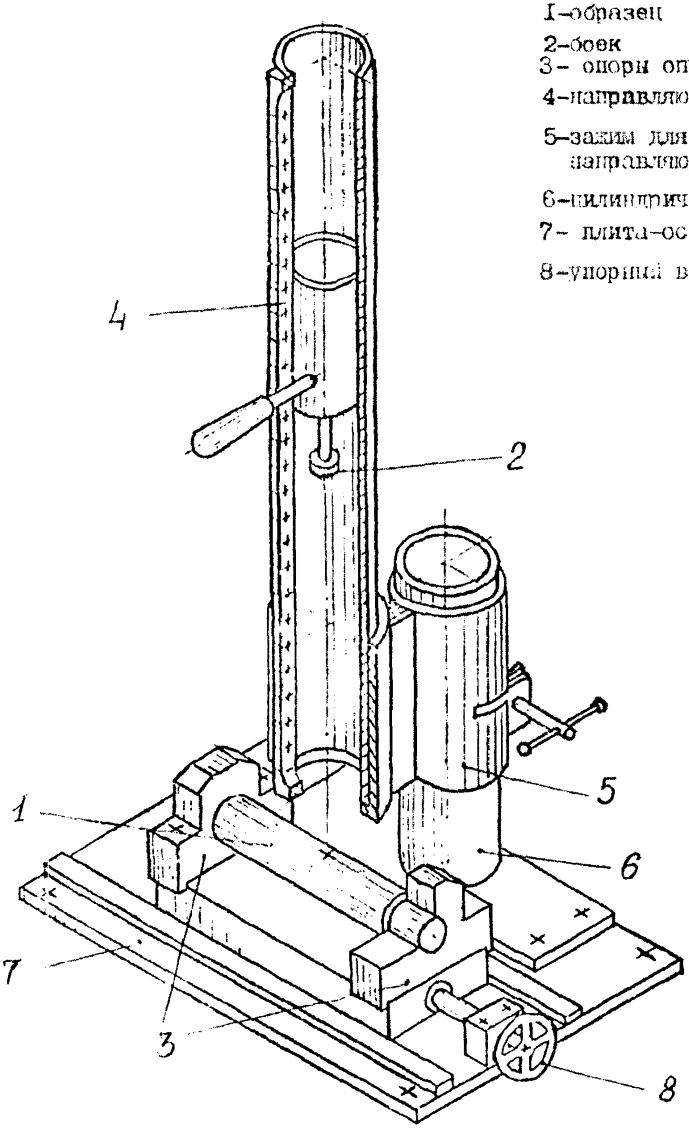

Рис.2

ИСПЫТАНИЕ ПОКРЫТИЯ НА ТРУБЧАТОМ ОБРАЗЦЕ

УТ-I 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 I50x200 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 технологии изоляции трубы (трубопровода).

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

3. ПРОВЕДЕНИЕ ИСПЫТАНИЙ

3.I. Испытание покрытия на образцах-трубках (рис.2).

3.I.I. При помощи толщиномера МТ 3IH, МТ 32H, МТ 33H 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 че I0-I2 точках (3x4=I2) образца и вычисляют среднее значение толщины

3.I.2. Образец размечают на точки для удара, помещают на оправку как показано на рис. 2 и жестко закрепляют в опорах 3.

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

точках на расстоянии не менее 30 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 смачивания окрестности точки удара электролитом.

3.1.4. Выбранным 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 Δh 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. Измеряют толщину покрытия не менее чем в десяти точках и вычисляют среднее значение толщины $\bar{\delta}$.

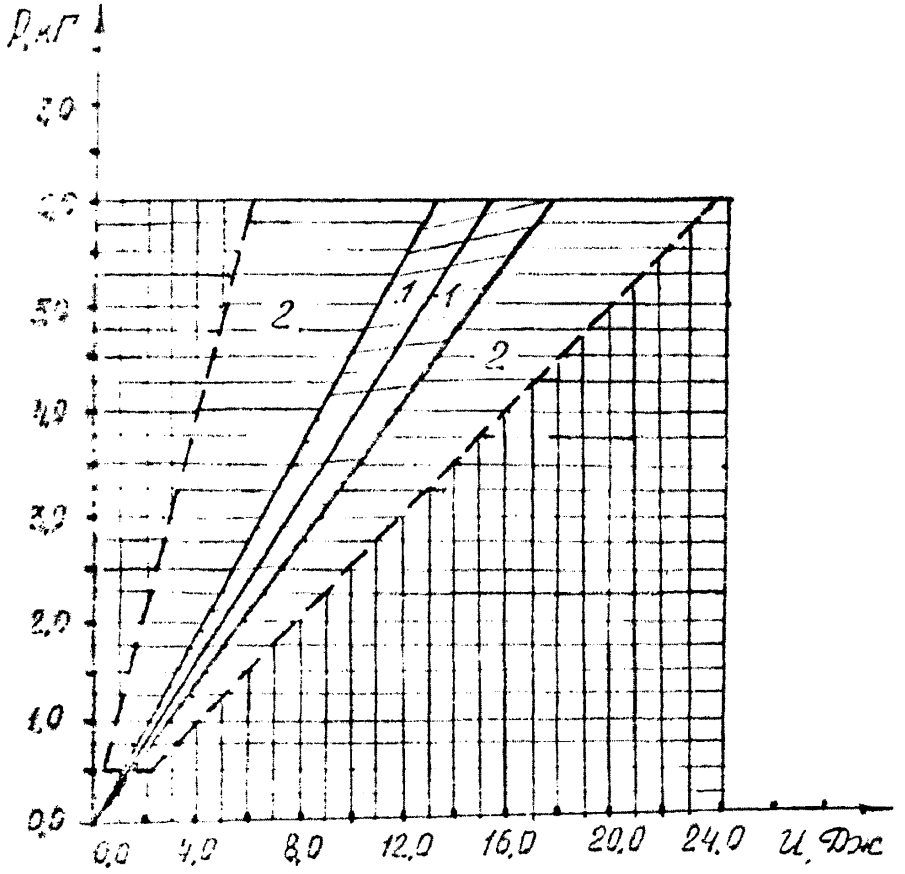

Рис. 3.

НОМОГРАММА ДЛЯ ВЫБОРА УДАРЯЮЩЕГО ГРУЗА

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

Таблица I

Порядок замера энергии разрушения
(n - число шагов, P - вес груза).
Материал покрытия - ПЭНД
Толщина покрытия δ =0,90-I,II мм; $\bar{\delta}$ =I,02 мм

№ образцов	Удар п/п	P, кг	$h+\Delta h_n$ см	Иксация разрушения "да"	Иксация разрушения "нет"	$U_н$	$\bar{U}$	σ	$U_н$	Примечание
	I	I,5	I3,0	да		I9,5				
	2	I,5	I3,5	да		20,2				
	3	I,5	I4,0	да		2I,0				
	4	I,5	I4,5	да	нет	2I,7				
	5	I,5	I4,0		нет	2I,0				
	6	I,5	I3,5	да		20,2				
	7	I,5	I4,0		нет	2I,0				
	8	I,5	I3,5		нет	20,2				
	9	I,5	I3,0		нет	I9,5				
	I0	I,5	I2,5	да		I8,7	I9,74	0,95	I9,35	Разрушение покрытия вязкоупруг.
I89	II	I,5	I3,0		нет	I9,5	20,47	I,08	I9,99	
	I2	I,5	I2,5		нет	I8,7				
	I3	I,5	I2,0	да		I8,0				
	I4	I,5	I2,5	да		I8,7				
	I5	I,5	I3,0	да		I9,5				
	I6	I,5	I3,5	да		20,2				
	I7	I,5	I4,0		нет	2I,0				
	I8	I,5	I3,5	да		20,2				
	I9	I,5	I4,0	да		2I,0				
	20	I,5	I4,5		нет	2I,7				

Примечание: Дробный показатель означает:
в числителе - энергия неразрушения,
в знаменателе - энергия разрушения.

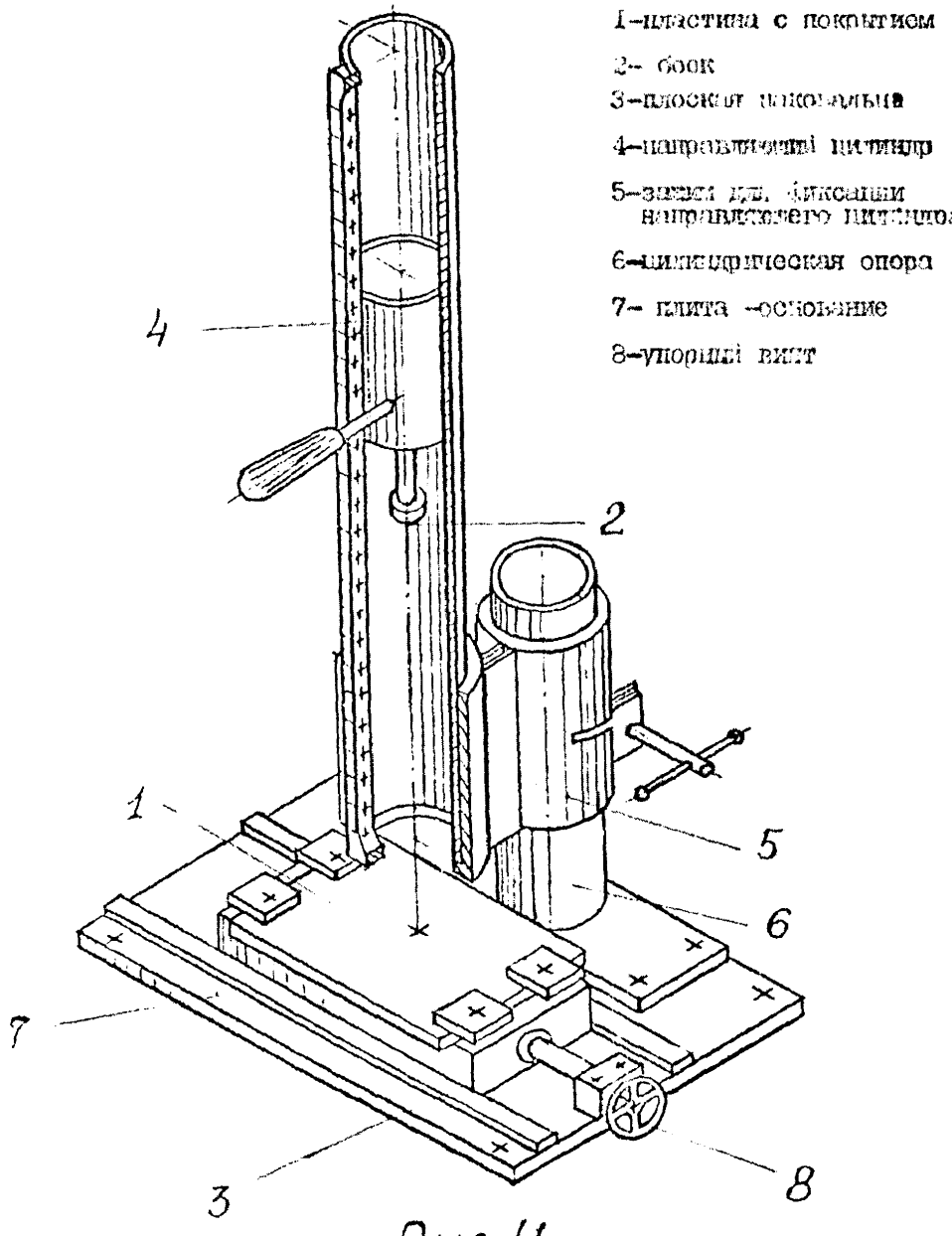

Рис.4.

ИСПЫТАНИЕ ПОКРЫТИЯ НА ОТРАЗИТЕЛЬ-ПЛАСТИНЕ

3.2.2. Образец размечают на точки для удара аналогично п. 3.I.2. и жестко закрепляют на плоской наковальне, как показано на рис.3. С помощью переносных опор 5-6 опускают направляющий цилиндр 4 так, чтобы ударящая поверхность бойка 2 свободно касалась покрытия при нулевой отметке на шкале высоты падения груза.

3.2.3. Выбор ударящего груза, собственно испытания, запись результатов и их обработку проводят как указано в п. 3.I.3 и п. 3.I.4.

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

3.3.I. Ударную прочность покрытия на натурной трубе определяют для оценки соответствия показателя энергии разрушения $U_{изм}$ требуемому сопротивлению изоляции удару $U_{тр}$. 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, намеченной 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 ударящего груза и собственно испытания проводят, как описано в п. 3.I.3 и п.3.I.4. В протоколе испытания отражают единичные показатели энергии разрушения и определяют ее среднее значение. Оно должно быть не менее I,I5 $U_{тр}$ (требуемого), т.е.

$$\frac{U_{изм}\ (\text{измеренное})}{U_{тр}\ (\text{требуемое})} \geqslant 1{,}15 \qquad (1)$$

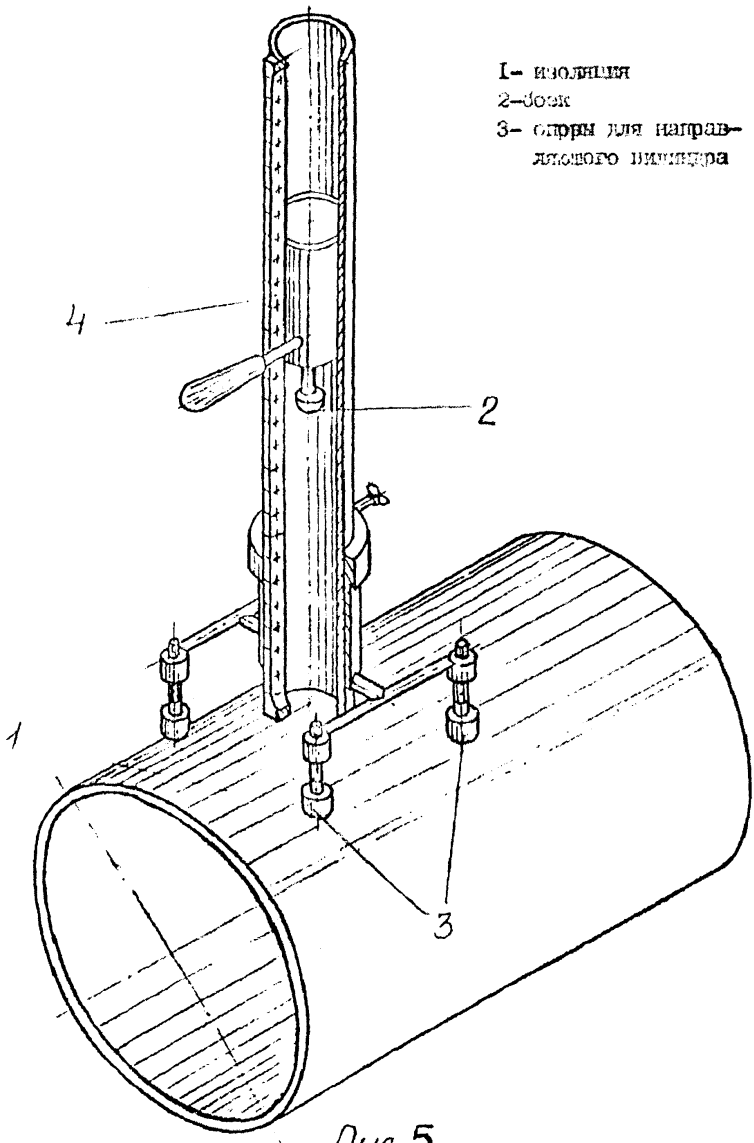

Рис. 5.

Установка покрытия на натурной трубе/трубопроводе/

4. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

4.1. Делят выборку разрушений ("нет") и неразрушения ("да") из общего числа ударов по образцам- близнецам.

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

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

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

$$\sigma = K \cdot S \qquad (3)$$

S - выборочный параметр для определения квадратического отклонения

где:

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

$U_1, U_2, U_3 \dots U_n$ – 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 искомой генеральной средней U_H по формуле:

$$U_H = \bar{U} - \ell \cdot S \qquad (5)$$

где S – то же, что в п. 4.3;

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

Таблица 2

Значение коэффициентов k и ℓ
в зависимости от числа точек в выборке – n

n	k	ℓ	n	k	ℓ
2	I,253	2,I8	I4	I,0I9	0,368
3	I,I28	I,03	I5	I,0I8	0,347
4	I,035	0,8I9	I6	I,0I7	0,334
5	I,064	0,685	I7	I,0I6	0,324
6	I,05I	0,602	I8	I,0I5	0,3I3
7	I,042	0,544	I9	I,0I4	0,305
8	I,036	0,500	20	I,0I3	0,296
9	I,032	0,466	2I	I,0I3	0,289
I0	I,029	0,437	22	I,0I2	0,28I
II	I,025	0,4I4	23	I,0II	0,275
I2	I,022	0,40I	24	I,0II	0,269
I3	I,02I	0,393	25	I,0I0	0,264

5. ФОРМА ВЫДАЧИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЯ

5.I. В протоколе испытания отражают: тип покрытия, его краткую характеристику, номера образцов и их размеры, толщину покрытия, температуру образцов при испытании, единичные показатели, квадратичное отклонение, нижний доверительный уровень, характер разрушения.

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

Таблица 3

Протокол испытания защитного покрытия трубопроводов на прочность при ударе

№ пп	Тип покрытия и его особенности (состояние)	Тип образца	Толщина покрытия, мм	Дата изготовления	Дата испытания	Температура испытания °С	Показатели прочности, [illegible] $\bar{u}$ кГсм	$\bar{u}$ Дж	σ, дж	$u_н$ кГсм	$u_н$ Дж	Примечание
I.	Полиэтилен (НЭ Д) напыленный	Трубка ø52 мм =200 мм	I,0–I,I	28. 03. 78.	07. 04. 79.	+23	42,3 / 49,2	4,I4 / 4,82	0,53 / 0,36	39,7 / 46,9	3,89 / 4,60	После старения в этих условиях
2.	Изобитэп	пластина 4хI20хI50 мм	3,5–4,0	20. 06. 79.	03. 07 79.	+23	5I,2 / 53,4	5,[illegible] / 5,2I	0,49 / 0,52	49,4 / 5I,5	4,84 / 5,04	I2% ТЭПа
3	Пленка изоляционная по ГТ 752, в два слоя, плюс обертка полимерная, в два слоя	Натурная труба ø I020 мм	I,0 + I,0	27. 09.0 79.	28. 09. 79.	+I9	34,2 / 35,6	3,33 / 3,50	0,22[x] / 0,28	33,42[x] / 33,8I	3,27[x] / 3,42	Испытания в цехе

x) При контрольных измерениях с целью оценки соответствия фактической ударной прочности с требуемой величины $u_н$ и σ можно не ~~считать~~ рассчитывать. Соответствие оценивают по соотношению (I).

П Р И Л О Ж Е Н И Е

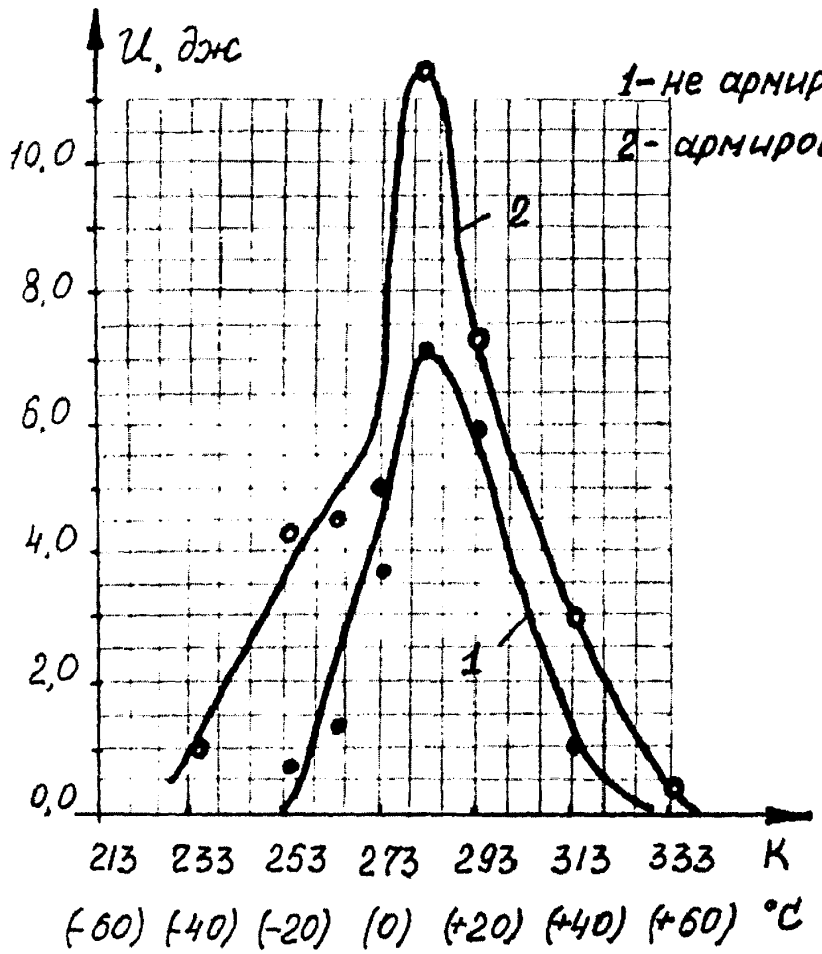

Рис.1. Влияние температуры на ударную прочность покрытия на основе битума. МБР-90. $\delta = 4{,}0$мм

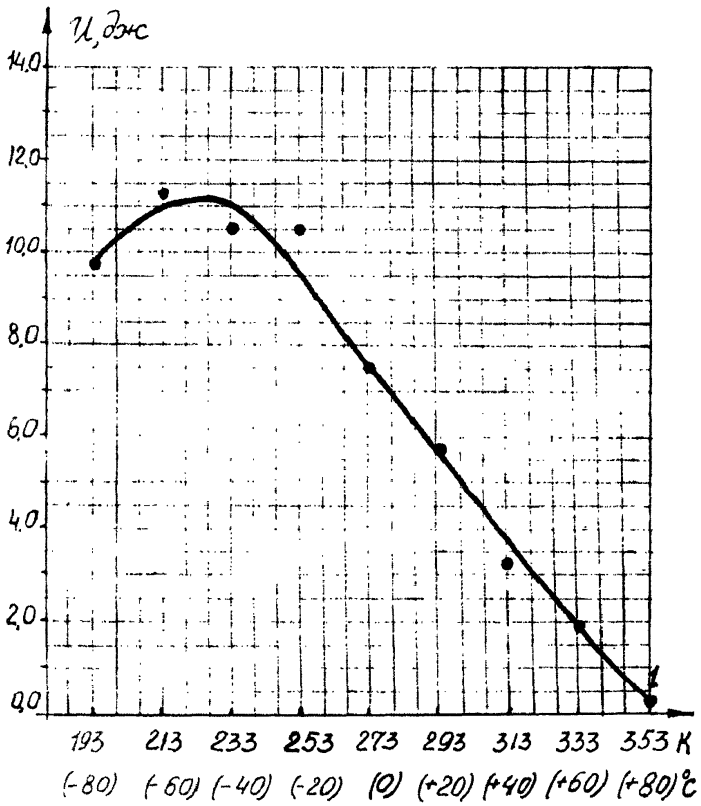

Рис. 8. Влияние температуры на ударную прочность покрытия на основе ПЭ. δ = 1,5 мм.

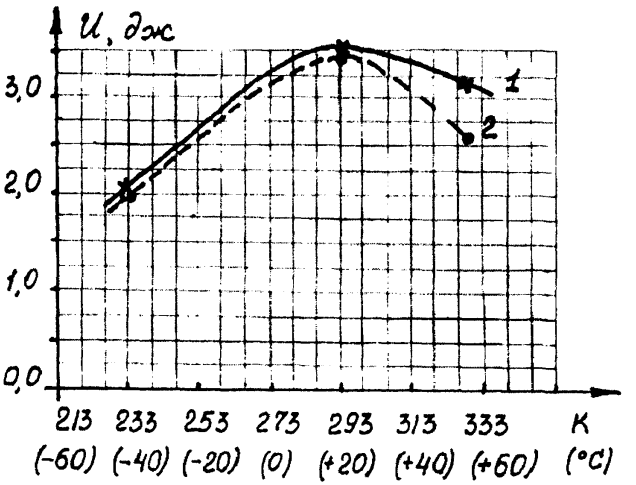

Рис. 3. Влияние температуры на ударную прочность покрытий на основе эпоксидных смол.
1. ПЭП-971 2. Либерт. δ = 0,35 мм

gost.e-ecolog.ru