

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Оренбургский государственный университет»  
Кафедра механики материалов, конструкций и машин

Е. В. Пояркова

# **УДАРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ОБРАЗЦОВ НА ИЗГИБ**

Методические указания

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Оренбургский государственный университет» для обучающихся по образовательной программе высшего образования по специальности 23.05.01 Наземные транспортно-технологические средства

Оренбург  
2019

УДК 620.10  
ББК 30.121  
П 67

Рецензент – профессор, доктор технических наук В. М. Кушнаренок

П 67 **Пояркова, Е. В.**

Ударные испытания образцов на изгиб: методические указания / Е. В. Пояркова; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург : ОГУ, 2019. – 17 с.

Методические указания предназначены для выполнения лабораторной работы по дисциплине «Сопротивление материалов» обучающимися по образовательной программе высшего образования по специальности 23.05.01 Наземные транспортно-технологические средства (профиль – Автомобильная техника в транспортных технологиях).

УДК 620.10  
ББК 30.121

© Пояркова Е. В., 2019  
© ОГУ, 2019

## Содержание

Введение .....	4
1 Лабораторная работа «Ударные испытания образцов на изгиб» .....	7
1.1 Теоретические предпосылки ударных испытаний материалов на изгиб .....	7
1.2 Методика испытаний .....	10
1.3 Выполнение эксперимента и обработка результатов испытаний .....	13
2 Вопросы для самоконтроля .....	15
3 Список рекомендованных источников.....	16
Приложение А.....	17

## Введение

При расчетах на прочность, жесткость и устойчивость элементов машин и различной автомобильной техники необходимо знать механические характеристики различных конструкционных материалов; при этом результаты расчетов тесно сочетаются с результатами экспериментальных исследований. По этой причине в учебной дисциплине «Сопротивление материалов» большое внимание уделяется лабораторным работам, которые выполняются параллельно с прохождением теоретического курса.

Настоящие методические указания предназначены как руководство при выполнении лабораторной работы «Ударные испытания образцов на изгиб» обучающимся по образовательной программе высшего образования по специальности 23.05.01 Наземные транспортно-технологические средства (профиль – Автомобильная техника в транспортных технологиях).

Цель настоящих методических указаний сводится к формированию у обучающихся представлений о месте и роли стандартных механических испытаний различных материалов в прочностной оценке конструкций транспортно-технологических средств и приобретению студентами навыков обработки результатов механических испытаний материалов.

Априори, лекционный материал, выданный обучающимся во время аудиторных занятий, закладывает основы знаний по предмету в обобщенной форме, а лабораторные занятия направлены на расширение и детализацию этих знаний, на выработку и закрепление навыков профессиональной деятельности. Результатом проведения лабораторной работы является реализация следующих компетенций:

- ОК-1 способностью к абстрактному мышлению, анализу, синтезу;
- ОПК-4 способностью к самообразованию и использованию в практической деятельности новых знаний и умений, в том числе в областях знаний, непосредственно не связанных со сферой профессиональной деятельности.

Подготовка к лабораторному занятию предполагает предварительную самостоятельную работу студентов в соответствии с данной методической разработкой.

Лабораторная работа позволит интегрировать теоретические знания и сформировать некоторые практические умения и навыки студентов в процессе их учебной деятельности. При этом предполагается:

- закрепление теоретического материала путем контроля за самостоятельной работой студентов;
- формирование умений использования теоретических знаний в процессе выполнения лабораторной работы;
- развитие аналитического мышления путем обобщения результатов лабораторной работы;
- формирование навыков оформления результатов лабораторных испытаний в виде таблиц, графиков, иллюстраций, соответствующих выводов.

Лабораторная работа выполняется в соответствии с методическими указаниями и оформляется по требованиям СТО 02069024.101–2015 РАБОТЫ СТУДЕНЧЕСКИЕ. Общие требования и правила оформления. Данный локальный нормативный документ доступен для ознакомления и скачивания на сайте Оренбургского государственного университета по ссылке [http://www.osu.ru/docs/official/standart/standart\\_101-2015.pdf](http://www.osu.ru/docs/official/standart/standart_101-2015.pdf).

Обучающиеся должны усвоить, что отчетность по лабораторным работам ведется в строгом соответствии с определенными требованиями, что контролируется ведущим преподавателем. Таким образом, у обучающихся формируются первоначальные умения ведения научной документации и представления отчетной информации.

Выполнение каждой лабораторной работы, входящей в курс дисциплины, предусматривает следующие этапы:

- 1) теоретическую подготовку;
- 2) допуск к выполнению работы;
- 3) проведение эксперимента, наблюдение и измерение;

- 4) обработку результатов измерений;
- 5) отчет о выполнении лабораторной работы;
- 6) защиту выполненной работы.

В процессе защиты лабораторной работы выявляется информационная компетентность в соответствии с заданием; затем преподавателем дается комплексная оценка деятельности студента.

Также следует помнить, что приступать к выполнению лабораторной работы запрещается до получения инструктажа от преподавателя и росписи в журнале по технике безопасности.

Во время выполнения эксперимента обучающиеся неуклонно должны соблюдать основные правила безопасности при работе в лаборатории:

- перед выполнением лабораторной работы проверить отсутствие видимых дефектов и неисправностей испытательной установки;

- перед проведением экспериментальной части работы дополнительно проверить правильность сборки, установки и закрепления необходимых лабораторных приспособлений и устройств;

- категорически запрещается самостоятельно (без соответствующего разрешения и/или в отсутствии преподавателя или заведующего лабораторией) включать и/или выключать испытательную машину (равно как и другие лабораторные установки, приборы);

- в случае серии испытаний перед каждым включением испытательной машины убедиться, что ее пуск никому не угрожает опасностью;

- перед испытанием материалов особое внимание следует обращать на чистоту изготовления образцов, параллельность торцов и перпендикулярность их к оси образца;

- при испытании образцов на ударный изгиб необходимым условием является установление специального защитного ограждения, а в случае его отсутствия запрещается находиться ближе полутора метров от установки, так как при разрушении образцов возможен разлёт их фрагментов.

# **1 Лабораторная работа «Ударные испытания образцов на изгиб»**

При эксплуатации различные детали и конструкции часто подвергаются ударным нагрузкам. В качестве примеров можно привести переезд автомобиля через выбоину на дороге, опускание груза на раму железнодорожной платформы, внезапная остановка лебедки при опускании кабины подъемника, взлет и посадка самолетов, высокоскоростная обработка металла давлением (при ковке и штамповке) и другое. Для оценки способности металлических материалов переносить ударные нагрузки используют динамические испытания, которые широко применяются также для выявления склонности металлов к хрупкому разрушению. Стандартизованы и наиболее распространены ударные испытания на изгиб образцов с надрезом. Помимо них используются методы динамического растяжения, сжатия и кручения. Скорости деформирования и деформации при динамических испытаниях на несколько порядков больше, чем при статических.

Среди многочисленных методов ударных испытаний наиболее широкое практическое применение нашел метод испытания на ударный изгиб с измерением величины ударной вязкости. Эта характеристика механических свойств играет огромную роль при оценке служебных свойств конструкционных, а также инструментальных сталей.

Цель работы – изучить явления, происходящие при испытании образца на ударный изгиб; определить удельную ударную вязкость материала образца.

## **1.1 Теоретические предпосылки ударных испытаний материалов на изгиб**

Поведение металлов при нагружении и характер их разрушения зависят не только от их физико-механических свойств, но также от следующих факторов:

- 1) характера напряженного состояния образца;
- 2) скорости приложения нагрузки;
- 3) температуры;
- 4) состояния поверхности образца;
- 5) его абсолютных размеров и др.

В зависимости от сочетания этих факторов разрушение может быть вязким или хрупким.

*Вязким* называется разрушение, происходящее в результате значительной пластической деформации, *хрупким* – без заметной пластической деформации.

В данной работе требуется изучить поведение стального образца с надрезом при ударе, то есть при совместном действии неоднородного напряженного состояния и удара.

*Ударом* называется действие нагрузки в течение очень малого промежутка времени (тысячные доли секунды и менее). В этих условиях происходит хрупкое разрушение металлов. Основной механической характеристикой материала является *удельная ударная вязкость*, характеризующая способность материала сопротивляться удару («энергоемкость» материала).

*Ударной вязкостью*  $K$  при изгибе называется работа удара, затрачиваемая на разрушение образца, имеющего концентратор напряжений.

*Удельной ударной вязкостью*  $K_C$  при изгибе называется частное от деления ударной вязкости на площадь поперечного сечения образца в надрезе. Размерность ее выражается в МДж/м<sup>2</sup>.

Величина удельной ударной вязкости зависит от формы и величины образца и формы надреза. Согласно ГОСТ 9454-78 [1] для определения ударной вязкости применяют призматические образцы с надрезами следующих видов:

- U-образный (*образец Менаже*);
- V-образный (*образец Шарпи*);
- Т-образный (*образец по методике Дроздовского*).

Ударную вязкость обозначают сочетанием букв и цифр. Первые две буквы КС – символ ударной вязкости, третья буква – вид концентратора напряжения (КСU, КСV, КСТ); первая цифра – максимальная энергия удара маятника, вторая – глубина концентратора, третья – ширина образца. Цифры не указывают при определении работы удара на копре с максимальной энергией удара маятника 300 Дж, при глубине концентратора 2 мм для концентраторов видов U и V и 3 мм для концентраторов вида T и ширине образца 10 мм (в настоящей работе используются образцы типов 1; 11; 15, см. Приложение А).

Концентрация напряжений увеличивается в ряду концентраторов  $U \rightarrow V \rightarrow T$ , поэтому для одного материала при одинаковых условиях испытания  $КСU > КСV > КСТ$ .

Отмечается, что величины ударной вязкости и удельной работы распространения трещины при ударном изгибе образцов с трещиной не характеризуют в достаточной мере склонность конструкционных материалов к хрупкому разрушению.

Иногда перед испытаниями на образцах с V-образным надрезом создается дополнительный концентратор напряжений в виде усталостной трещины.

При ударных испытаниях надрезанных образцов закон подобия неприменим. Поэтому здесь необходима жесткая унификация размеров образцов и условий проведения испытания. Вследствие этого нельзя произвести теоретический пересчет значений ударной вязкости, определенных для одного типа образцов, на другой тип (хотя попытки нахождения при этом эмпирических формул всё же существуют).

Обычно образцы с концентратором U применяют при выборе и приемочном контроле металлов и сплавов до установления норм на образцах с концентратором вида V.

Образцы с концентратором V применяют при выборе и приёмочном контроле металлов и сплавов для конструкций повышенной степени надёжности (летательные аппараты, транспортные средства, трубопроводы, сосуды высокого давления и тому подобное).

Образцы с концентратором Т используются при выборе и приёмочном контроле металлов и сплавов для особо ответственных конструкций, для эксплуатации которых оценка сопротивления развитию трещины имеет первостепенное значение.

Ударные испытания выявляют такие различия между материалами, которые не отражаются при обычных (статических) испытаниях гладких образцов. Например, значения предела прочности мало отличаются для мелкозернистого железа (365 МПа) и крупнозернистого железа (345 МПа), тогда как в значениях ударной вязкости имеется существенное различие: 131 МДж/м<sup>2</sup> и 26 МДж/м<sup>2</sup> соответственно.

Ударная вязкость в значительной мере отражает состояние поверхности образца, так как распределение деформации в образце неравномерно и часто бывает сосредоточено, в основном, в поверхностных слоях. Наличие твердых поверхностных слоев понижает ударную вязкость, а мягкие поверхностные слои повышают ее. Например, если надрезы на стальном образце, предназначенном для испытания на ударный изгиб, сделаны до термической обработки, то даже небольшое обезуглероживание поверхности, приводящее к образованию мягкого и пластичного феррита, может повысить ударную вязкость вдвое.

Поэтому при ударных испытаниях предписывается изготавливать надрез на ударных образцах после их термической обработки.

## **1.2 Методика испытаний**

Ударные испытания материалов на изгиб производятся в строгом соответствии ГОСТ 9454-78 [1].

В данной лабораторной работе в качестве испытательного устройства используется маятниковый копер типа МК-30 с переменным запасом энергии. Копер может развить максимальную энергию удара до 300 Дж.

Копер служит для испытаний различных материалов на динамическую нагрузку (ударный изгиб или ударное растяжение при применении специальных приспособлений) [2]. Копер состоит из станины, маятника, тормозного приспособления и отсчетного механизма.

Испытания выполняются с помощью маятникового копра, изображенного на рисунке 1.1, в котором тяжелый маятник (1) поднимается на некоторую высоту  $H$ . В копер устанавливают испытуемый образец (7) так, чтобы при ударе в зоне его надреза возникли растягивающие напряжения.

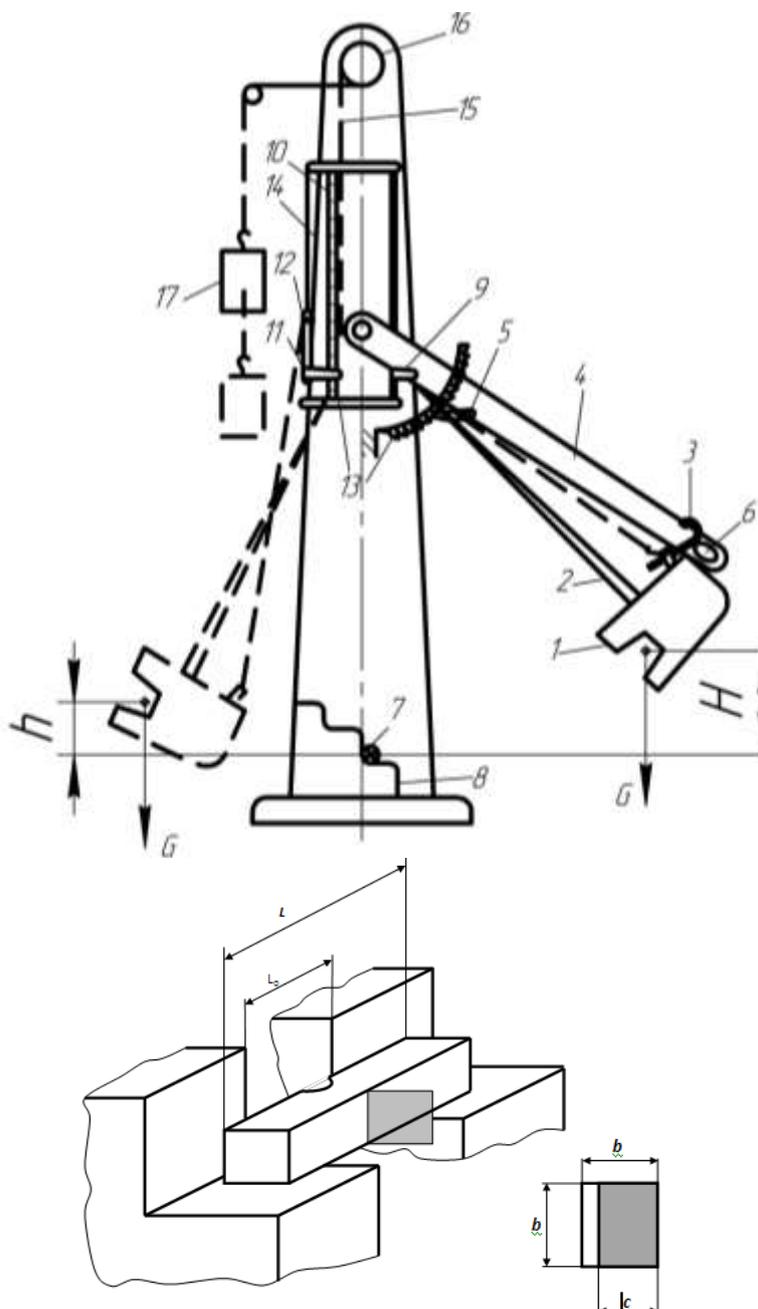


Рисунок 1.1 – Маятниковый копер МК-30 и схема установки образца на опору

О сопротивляемости материала ударным нагрузкам принято судить по *ударной вязкости* на изгиб. Подсчет ударной вязкости производится по работе, затраченной на разрушение образца. Для этого, установив маятник весом  $G$  на высоту  $H$ , размещается образец (7). При испытании маятник свободно падает с этой высоты, производит разрушение образца и, затратив на его разрушение часть своей энергии, поднимается на высоту  $h$ .

Работа, затраченная на разрушение образца, подсчитывается по формуле:

$$K = G \cdot H - G \cdot h = G \cdot (H - h),$$

где  $GH$  – потенциальная энергия маятника до разрушения образца;

$Gh$  – потенциальная энергия маятника после разрушения образца;

$K$  – работа, затраченная на разрушение образца;

$G$  – вес маятника;

$H$  – высота подъема маятника до испытаний;

$h$  – высота подъема маятника после испытаний.

Копер имеет специальный отчетный механизм, который даёт возможность определять работу, затраченную на разрушение образца, непосредственно по шкале.

Маятник копра состоит из тяжёлого молота (1) с пазом, в который вставлен нож. Молот, укреплен на тягах (2) и может поворачиваться вокруг нулевой оси.

Перед началом испытаний маятник поднимают на определённую высоту и при помощи специальной защёлки (3) закрепляют на неподвижной раме (4). Подвижную раму устанавливают и фиксируют при помощи храповика (5) в положение, соответствующее требуемому запасу энергии.

При производстве испытаний образец устанавливают на опоры (8) на станине копра. Расстояние между опорами (в пределах от 40 до 100 мм) регулируют в зависимости от размеров образца и условий испытаний.

Необходимо следить за тем, чтобы опоры были расположены симметрично относительно ножа маятника.

Для предотвращения случайного самопроизвольного падения маятника на подъемной раме имеется предохранительное приспособление (6). Во избежание несчастного случая при работе на копре необходимо обязательно пользоваться этим приспособлением. До установки копра на предохранительную защёлку запрещается закладывать испытуемый образец (7) на опоры (8). Механизм, указывающий количество затраченной энергии, имеет два щупа: щуп (9) соединен со шкалой (10), а щуп (11) – с указателем (12).

Когда маятник устанавливают в исходное положение, ролик маятника (13) упирается в щуп (9) и поднимает шкалу (10) в соответствующее положение.

После удара маятника по образцу щуп (11) входит в соприкосновение с роликом (13) маятника.

Указатель (12), связанный со щупом, начнёт перемещаться по направляющей (14) до тех пор, пока маятник не прекратит движения вверх, по инерции. Тогда указатель остановится и покажет на шкале количество работы в кгм, затраченной на разрушение образца. Для быстрой остановки маятника после разрушения образца копер имеет веревочный тормоз. При свободном падении маятника веревка (15) остается ненатянутой (потому что груз (17) вследствие трения веревки о блок (16) опускается медленно) и тормоз не оказывает влияния на движение маятника. При обратном ходе маятника веревка натягивается и останавливает его.

### **1.3 Выполнение эксперимента и обработка результатов испытаний**

В начале выполнения экспериментальной части лабораторной работы следует уточнить у ведущего преподавателя основные задачи эксперимента, а также количество и тип образцов (необходимо отметить, что испытания могут быть серийными с обязательной статистической обработкой результатов).

Также в случае формирования у обучающихся компетенций, относящихся к научно-исследовательской деятельности, испытания образцов из различных материалов могут включать исследование влияния видов концентраторов напряжения на величину работы разрушения.

Испытанию подвергается стандартный стальной образец 55x10x10 мм с надрезом глубиной 2 мм и радиусом закругления в глубине надреза  $r = 1$  мм (рисунок 1.1).

После установки образца на опору необходимо поднять маятник на высоту  $H$ , далее освободить маятник и произвести разрушение образца. По шкале (10) следует отметить работу, затраченную на разрушение образца.

В отчет по лабораторной работе необходимо занести следующие данные:

Размеры образца:  $c =$       см.

$b =$       см.

Также рекомендуется сделать схематичный чертеж образца.

Расстояние между опорами  $L_0 =$       см.

Длина образца  $L =$       см.

Площадь сечения у надреза  $S = c \cdot b =$       см<sup>2</sup>.

Полученные в результате испытания образца данные и результаты их обработки необходимо занести в таблицу 1.1. Обязательно в заключение работы следует сделать выводы по работе.

Таблица 1.1 - Результаты испытаний образцов из различных материалов на ударную вязкость

Номер образца (материал)	Вид концентратора напряжения	Площадь поперечного сечения образца, см <sup>2</sup>	Работа, затраченная на излом $K=GH-Gh$ , Дж	Величина ударной вязкости, $KC=K/S$ , МДж/м <sup>2</sup>

## 2 Вопросы для самоконтроля

1. Сформулируйте цель опыта.
2. В чем состоит суть явления удара?
3. Как производятся испытания материалов на удар?
4. Какой вид имеют стандартные образцы, применяемые для испытания на ударный изгиб?
5. Чем объясняется наличие надреза в рабочем сечении образца?
6. Какие виды концентраторов напряжения Вы знаете? К какому из них наиболее чувствителен материал образца?
7. По какой характеристике судят о способности материала сопротивляться удару?
8. Что называется удельной ударной вязкостью материала? В каких единицах измерения вычисляется эта величина?
9. Как по показаниям шкалы маятникового копра определяют работу, затраченную на разрушение образца?
10. Как распределяются нормальные продольные напряжения в рабочем сечении при ударном изгибе?
11. Можно ли назвать ударную вязкость энергетической характеристикой материала?

### 3 Список рекомендованных источников

1. ГОСТ 9454-78 Металлы. Метод испытания на ударный изгиб при пониженных, комнатной и повышенных температурах. – Введ. 01.01.79. – М. : Изд-во стандартов, 1978. – 12 с.
2. Пояркова, Е.В. Механика материалов (методы механических испытаний материалов) [Электронный ресурс] : учебное пособие / Е.В. Пояркова, В.И. Грызунов, И.Р. Кузеев. – Москва : Флинта. – 2015. – ISBN 978-5-9765-2481-1. – 228 с – Загл. с тит. экрана. <https://e.lanbook.com/book/72683#authors>
3. Калеева, Ж.Г. Обработка результатов механических испытаний материалов методом линейного регрессионного анализа [Электронный ресурс] : методические указания / Ж.Г. Калеева, Е.В. Пояркова, С.Н. Горелов. – 2-е изд. – Москва : Флинта. – 2015. – ISBN 978-5-9765-2482-8. – 46 с – Загл. с тит. экрана. [https://e.lanbook.com/book/72680#book\\_name](https://e.lanbook.com/book/72680#book_name)
4. Лабораторный практикум по сопротивлению материалов : учебное пособие для студентов технических специальностей / Р.В. Ромашов [и др.]; под ред. Р.В. Ромашова. – Оренбург : ГОУ ОГУ, 2009. – 123 с. : ил. – ISBN 978-5-7410-0949-9.
5. Быков, С.Ю. Испытания материалов : учеб. пособие для вузов / С.Ю. Быков, С.А. Схиртладзе . – М. : ТНТ, 2009. – 136 с. – Библиогр.: с. 135. – ISBN 978-5-94178-213-0.
6. Золоторевский, В.С. Механические испытания и свойства металлов: учеб. пособие для вузов / В.С. Золоторевский; под ред. И.И. Новикова. – М. : Металлургия, 1974. – 304 с. : ил. – Библиогр.: с. 303.
7. Пояркова, Е.В. Сопротивление материалов для транспортных направлений подготовки [Электронный ресурс] : электронный курс в системе Moodle / Е.В. Пояркова; М-во науки и высш. образования Рос. Федерации, Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. образования "Оренбург. гос. ун-т". – Оренбург : ОГУ. – 2019. – 11 с. – Режим доступа: [https://ufer.osu.ru/index.php?option=com\\_uferdbsearch&view=uferdbsearch&action=details&ufer\\_id=1749](https://ufer.osu.ru/index.php?option=com_uferdbsearch&view=uferdbsearch&action=details&ufer_id=1749) – Загл. с тит. экрана.

## Приложение А

(справочное)

Таблица А.1 – Размеры стандартных образцов на ударный изгиб, мм согласно требованиям ГОСТ 9454-78

Тип образца <i>i</i>	Длина <i>L</i>	Ширина <i>B</i>	Высота <i>H</i>	Глубина надреза <i>h<sub>1</sub></i> *	Глубина концентратора <i>H</i>	Высота рабочего сечения <i>H<sub>1</sub></i>
1	2	3	4	5	6	7
<i>Концентратор U – образный радиусом 1±0,07</i>						
1	55	10±0,10	10	-	-	8±0,10
2	55	7,5±0,10	10	-	-	8±0,10
3	55	5±0,10	10	-	-	8±0,10
4	55	2±0,10	8	-	-	6±0,10
5	55	10±0,10	10	-	-	7±0,10
6	55	7,5±0,10	10	-	-	7±0,10
7	55	5±0,10	10	-	-	7±0,10
8	55	10±0,10	10	-	-	5±0,10
9	55	7,5±0,10	10	-	-	5±0,10
10	55	5±0,10	10	-	-	5±0,10
<i>Концентратор V – образный радиусом 0,25±0,0025</i>						
11	55	10±0,10	10	-	-	8±0,10
12	55	7,5±0,10	10	-	-	8±0,10
13	55	5±0,10	10	-	-	8±0,10
14	55	2±0,10	8	-	-	6±0,10
<i>Концентратор T – образный (трещина)</i>						
15	55	10±0,10	11	1,5	3,0	-
16	55	7,5±0,10	11	1,5	3,0	-
17	55	5±0,10	11	1,5	3,0	-
18	55	2±0,10	9	1,5	3,0	-
19	55	10±0,10	10	3,5	5,0	-
20	140	25±0,10	25	10	12,5	-

\* *Предельные отклонения по длине ±0,6 мм,  
по высоте ±0,1 мм,  
по глубине надреза ±0,1 мм,  
по глубине концентратора ±0,06 мм.*