МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СОВЕТ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ, МЕТРОЛОГИИ И СЕРТИФИКАЦИИ
(МГС)
INTERSTATE COUNCIL FOR STANDARDIZATION, METROLOGY AND CERTIFICATION
(ISC)

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ
СТАНДАРТ

**ГОСТ
29167—
2021**

# БЕТОНЫ

## Методы определения характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения) при статическом нагружении

**Издание официальное**

Москва
Российский институт стандартизации
2022

gost.e-ecolog.ru

## Предисловие

Цели, основные принципы и общие правила проведения работ по межгосударственной стандартизации установлены ГОСТ 1.0 «Межгосударственная система стандартизации. Основные положения» и ГОСТ 1.2 «Межгосударственная система стандартизации. Стандарты межгосударственные, правила и рекомендации по межгосударственной стандартизации. Правила разработки, принятия, обновления и отмены»

**Сведения о стандарте**

1 РАЗРАБОТАН Акционерным обществом «Научно-исследовательский центр «Строительство» (АО «НИЦ «Строительство») — Научно-исследовательским, проектно-конструкторским и технологическим институтом бетона и железобетона им. А. А. Гвоздева (НИИЖБ им. А. А. Гвоздева)

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 465 «Строительство»

3 ПРИНЯТ Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 9 декабря 2021 г. № 60)

За принятие проголосовали:

| Краткое наименование страны по МК (ИСО 3166) 004—97 | Код страны по МК (ИСО 3166) 004—97 | Сокращенное наименование национального органа по стандартизации |
|---|---|---|
| Армения | AM | ЗАО «Национальный орган по стандартизации и метрологии» Республики Армения |
| Казахстан | KZ | Госстандарт Республики Казахстан |
| Киргизия | KG | Кыргызстандарт |
| Россия | RU | Росстандарт |

4 Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 16 декабря 2021 г. № 1788-ст межгосударственный стандарт ГОСТ 29167—2021 введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации с 1 сентября 2022 г.

5 ВЗАМЕН ГОСТ 29167—91

*Информация о введении в действие (прекращение действия) настоящего стандарта и изменений к нему на территории указанных выше государств публикуется в указателях национальных стандартов, издаваемых в этих государствах, а также в сети Интернет на сайтах соответствующих национальных органов по стандартизации.*

*В случае пересмотра, изменения или отмены настоящего стандарта соответствующая информация будет опубликована на официальном интернет-сайте Межгосударственного совета по стандартизации, метрологии и сертификации в каталоге «Межгосударственные стандарты»*

© Оформление. ФГБУ «РСТ», 2022

В Российской Федерации настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

## Содержание

1 Область применения . . . . . 1
2 Нормативные ссылки . . . . . 1
3 Термины, определения и обозначения . . . . . 1
3.1 Термины и определения . . . . . 1
3.2 Обозначения . . . . . 2
4 Общие положения . . . . . 3
5 Изготовление и хранение образцов . . . . . 4
6 Испытательное оборудование . . . . . 7
7 Проведение испытаний . . . . . 7
8 Обработка результатов . . . . . 8
Приложение А (рекомендуемое) Определение характеристик трещиностойкости при равновесных испытаниях образцов с фиксацией размеров развивающейся магистральной трещины и соответствующих значений прилагаемой нагрузки . . . . . 11
Приложение Б (рекомендуемое) Определение предела прочности на растяжение и начального модуля упругости . . . . . 12
Приложение В (обязательное) Испытательное оборудование для определения характеристик трещиностойкости при равновесных испытаниях образцов типа 1 . . . . . 13
Приложение Г (обязательное) Поправка на массу образца и дополнительного оборудования . . . . . 15

**Поправка к ГОСТ 29167—2021 Бетоны. Методы определения характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения) при статическом нагружении**

| В каком месте | Напечатано | Должно быть |
|---|---|---|
| Предисловие. Таблица согласования | — | Узбекистан \| UZ \| Узстандарт |

(ИУС № 6 2022 г.)

М Е Ж Г О С У Д А Р С Т В Е Н Н Ы Й  С Т А Н Д А Р Т

# БЕТОНЫ

## Методы определения характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения) при статическом нагружении

Concretes. Methods for determining crack resistance (fracture toughness) characteristics under static loading

**Дата введения — 2022—09—01**

## 1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на бетоны всех видов (кроме ячеистых), применяемых в строительстве, и устанавливает методы определения характеристик трещиностойкости при статическом кратковременном нагружении.

## 2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие межгосударственные стандарты:

ГОСТ 8074 Микроскопы инструментальные. Типы, основные параметры и размеры. Технические требования

ГОСТ 10180 Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам

ГОСТ 18105 Бетоны. Правила контроля и оценки прочности

ГОСТ 28570 Бетоны. Методы определения прочности по образцам, отобранным из конструкций

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов и классификаторов на официальном интернет-сайте Межгосударственного совета по стандартизации, метрологии и сертификации (gost.e-ecolog.ru по указателям национальных стандартов, издаваемым в государствах, указанных в предисловии, или на официальных сайтах соответствующих национальных органов по стандартизации. Если на документ дана недатированная ссылка, то следует использовать документ, действующий на текущий момент, с учетом всех внесенных в него изменений. Если заменен ссылочный документ, на который дана датированная ссылка, то следует использовать указанную версию этого документа. Если после принятия настоящего стандарта в ссылочный документ, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение применяется без учета данного изменения. Если ссылочный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

## 3 Термины, определения и обозначения

### 3.1 Термины и определения

В настоящем стандарте применены следующие термины с соответствующими определениями:

3.1.1 **трещиностойкость (вязкость разрушения) бетона:** Способность бетона сопротивляться началу движения и развитию трещин при механических и других воздействиях.

3.1.2 **коэффициент интенсивности напряжений:** Величина, определяющая напряженно-деформированное состояние и смещения вблизи вершины трещины, независимо от схемы нагружения, формы и размеров тела и трещины.

**Издание официальное**

3.1.3 **условный коэффициент интенсивности напряжений:** Значение, вычисленное через действующую на образец нагрузку и исходную длину трещины по формулам для упругого тела.

3.1.4 **удельные энергозатраты:** Величина, характеризующая удельные (относительно эффективной рабочей площади поперечного сечения образца) энергозатраты на различные этапы деформирования и разрушения.

3.1.5 ***j*-интеграл (джей-интеграл) *J*, МДж/м$^2$:** Величина, характеризующая работу пластической деформации и разрушения, а также поле напряжений и деформаций при упругопластическом деформировании вблизи вершины трещины (аналогично коэффициенту интенсивности напряжений *K*).

3.1.6 **условный критический коэффициент интенсивности напряжений *K**:** Значение коэффициента интенсивности напряжений, определяемое при неравновесных испытаниях образцов типов 1—4 по нагрузке, $F_c$*, соответствующей динамическому началу движения магистральной трещины при неравновесных испытаниях, и начального надреза образца $a_0$, условно характеризующее критическое состояние материала при динамическом начале движения магистральной трещины.

Примечание — Типы образцов см. в 5.2, 5.3 и А.2 приложения А.

3.1.7 **статический критический коэффициент интенсивности напряжений:** Значение коэффициента интенсивности напряжений, определяемое при равновесных испытаниях образцов типов 1, 5, 6 по удельным энергозатратам на статическое разрушение до момента начала движения магистральной трещины и по модулю упругости, характеризующее критическое состояние материала при статическом начале движения магистральной трещины.

3.1.8 **критический коэффициент интенсивности напряжений:** Значение *K*, определяемое при равновесных испытаниях образцов типа 1 по полным упругим удельным энергозатратам на статическое деформирование образцов до деления на части и по модулю упругости, инвариантно характеризующее состояние материала при динамическом начале движения магистральной трещины.

3.1.9 **удельные энергозатраты на начало статического разрушения:** Энергозатраты, определяемые при равновесных испытаниях образцов типа 1 по диаграмме *F* – *V*.

3.1.10 **удельные эффективные энергозатраты на статическое разрушение:** Энергозатраты, определяемые при равновесных испытаниях образцов типа 1 по диаграмме *F* – *V*.

3.1.11 **полные удельные упругие энергозатраты на статическое деформирование до деления на части:** Энергозатраты, определяемые при равновесных испытаниях образцов типа 1 по диаграмме *F* – *V*.

3.1.12 **статический джей-интеграл $J_i$, МДж/м$^2$:** Значение *J*, определяемое при равновесных испытаниях образцов типа 1 по диаграмме *F* – *V*, характеризующее поле напряжений и деформаций вблизи вершины магистральной трещины при начале ее движения.

3.1.13 **трещина:** Полость, образованная без удаления материала двумя соединенными внутри тела поверхностями, которые при отсутствии в нем напряжений удалены друг от друга на расстояния, во много раз меньшие протяженности самой полости.

3.1.14 **магистральная трещина:** Трещина, протяженность которой превосходит размеры структурных составляющих материалов и областей самоуравновешенных напряжений и по поверхностям которой произойдет деление образца на части.

### 3.2 Обозначения

В настоящем стандарте применены следующие обозначения:

$a_{ij}$ — текущие значения длины магистральной трещины при поэтапном равновесном нагружении образца, м;

$a_0$, $a_{0t}$ — длина начального надреза. м;

$b$, $t$, $L_0$, $L$, $D$ — размеры образца, м;

$d_{am}$ — максимальный размер заполнителя, м;

$E_b$ — модуль упругости, МПа;

$E_l$ — единичный модуль упругости, МПа;

$e_0$ — начальный эксцентриситет приложения нагрузки, м;

$F$ — нагрузка, действующая на образец в процессе испытания МН;

$F_c$ — нагрузка, соответствующая статическому началу движения магистральной трещины при равновесных испытаниях, МН;

$F_c^*$ — нагрузка, соответствующая динамическому началу движения магистральной трещины при неравновесных испытаниях, МН;

$F_{ij}$ — текущие значения действующей на образец нагрузки при его поэтапном равновесном нагружении, МН;

$F_s$ — нагрузка, соответствующая массе образца и дополнительного оборудования, МН;

$G$ — удельные энергозатраты, МДж/м$^2$;

$G_{ce}$ — полные удельные упругие энергозатраты на статическое деформирование образцов до деления на части, МДж/м$^2$;

$G_F$ — удельные эффективные энергозатраты на статическое разрушение, МДж/м$^2$;

$G_i$ — удельные энергозатраты на статическое разрушение до момента начала движения магистральной трещины, МДж/м$^2$;

$g$ — ускорение свободного падения м/с$^2$; $g$ = 9,81 м/с$^2$;

$K$, $K_{\text{I}}$, $K_{\text{II}}$ — коэффициенты интенсивности напряжений при разных видах смещений краев трещин, МПа·м$^{0,5}$;

$K_i$ — статический критический коэффициент интенсивности напряжений, МПа·м$^{0,5}$;

$K_{ij}$ — текущие значения коэффициентов интенсивности напряжений при поэтапном равновесном нагружении образцов, МПа·м$^{0,5}$;

$K_c$ — критический коэффициент интенсивности напряжений при максимальной нагрузке, МПа·м$^{0,5}$;

$K_c^*$ — условный критический коэффициент интенсивности напряжений, МПа·м$^{0,5}$;

$m_1$, $m_2$ — масса образца и дополнительного оборудования, кг;

$R_{bt}$ — прочность на осевое растяжение, МПа;

$R_{btf}$ — прочность на растяжение при изгибе, МПа;

$V$ — перемещения образца, м;

$V_e$ — перемещения, соответствующие упругим деформациям образца, м;

$V_l$ — перемещения, соответствующие локальным деформациям образца в зоне магистральной трещины, м;

$V_m$ — перемещения, соответствующие необратимым деформациям образца, м;

$V_{ui}^c$ — расчетное значение перемещений сплошного образца, соответствующее моменту начала движения магистральной трещины в образце с начальным надрезом, м;

$W$ — энергозатраты, МДж;

$W_{ce}$ — полные упругие энергозатраты на статическое деформирование до деления на части, МДж;

$W_e$ — энергозатраты на упругое деформирование до начала движения магистральной трещины статического разрушения, МДж;

$W_l$ — энергозатраты на локальное статическое деформирование в зоне магистральной трещины, МДж;

$W_m$ — энергозатраты на процессы развития и слияния микротрещин до формирования магистральной трещины статического разрушения, МДж;

$W_{ui}^c$ — расчетные энергозатраты на упругое деформирование сплошного образца, МДж;

$\alpha$ — угол наклона восходящего упругого участка диаграммы;

$\lambda = (a_0 + a_{0t})/b$ — относительная длина начального надреза;

$\varphi = b/L_0$ — относительная высота образца;

$\chi_F^c$ — критерий хрупкости, м.

## 4 Общие положения

4.1 Настоящий стандарт устанавливает методы определения характеристик трещиностойкости путем равновесных и неравновесных механических испытаний.

Равновесные испытания характеризуются способностью образца уравновешивать внешнюю нагрузку возникающими внутренними усилиями с соответствующим статическим развитием магистральной трещины.

Неравновесные испытания характеризуются потерей устойчивости процесса деформирования образца в момент локализации деформации по достижении максимальной нагрузки, с соответствующим динамическим развитием магистральной трещины.

4.2 Для определения характеристик трещиностойкости испытывают образцы с начальным надрезом. При равновесных испытаниях записывают диаграмму $F—V$; при неравновесных испытаниях фиксируют значение $F_c^*$.

Допускается проведение равновесных испытаний с фиксацией текущих размеров развивающейся магистральной трещины $a_{ij}$ и соответствующих значений прилагаемой нагрузки $F_{ij}$, приведенных в приложении А.

4.3 По результатам испытаний определяют следующие основные силовые — в терминах коэффициентов интенсивности напряжений $K$, энергетические — в терминах удельных энергозатрат $G$ и джей-интеграла $J$ характеристики трещиностойкости: $K_c$, $K_c^*$, $K_i$, $G_F$, $G_i$, $G_{ce}$, $J_i$, $\chi_F^c$.

Способы определения значений $R_{bt}$, $R_{btf}$, $E_b$ приведены в приложении Б.

4.4 Определяемые по настоящему стандарту характеристики трещиностойкости (наряду с другими характеристиками механических свойств) используют:

- для сравнения различных вариантов состава, технологических процессов изготовления и контроля качества бетонов;
- сопоставления бетонов при обосновании их выбора для конструкций;
- расчетов конструкций с учетом их дефектности и условий эксплуатации;
- анализа причин разрушений конструкций;
- оценки морозостойкости;
- оценки стойкости к воздействию высоких температур.

## 5 Изготовление и хранение образцов

5.1 Для определения характеристик трещиностойкости при равновесных испытаниях применяют образцы типа 1 для испытаний на изгиб (рисунок 1).

5.2 Для определения характеристик трещиностойкости при неравновесных испытаниях применяют образцы типов: 1 — для испытаний на изгиб; 2 — для испытаний на осевое растяжение; 3 — для испытаний на внецентренное сжатие; 4 — для испытаний на растяжение при раскалывании; 5 — для испытаний образца для расчета $K_{Ic}$; 6 — для испытаний усеченного конуса вырыва; 7 — для испытаний образца для расчета $K_{IIc}$.

5.3 Соотношение размеров и схемы нагружения образцов типов 1—7 приведены на рисунках 1—7.

Минимальные размеры образцов и размеры начальных надрезов принимают по таблице 1 в зависимости от размера зерна заполнителя $d_{am}$. Обозначения, использованные на рисунках 1—4, приведены в 3.2, размеры образцов типов 1—5, 7 принимают по таблице 1. Для образцов типа 6 $r_0$ принимают не менее 10 мм.

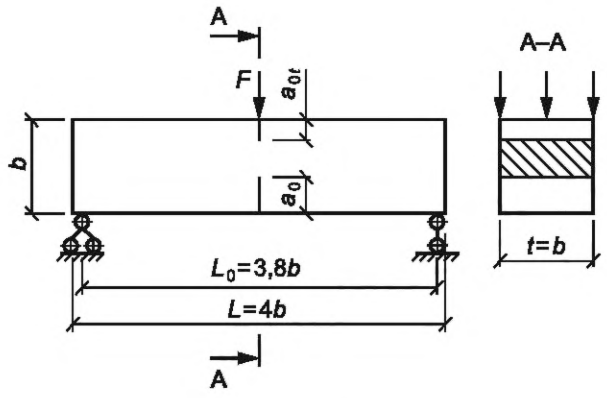



Рисунок 1 — Образец типа 1 — призма квадратного поперечного сечения для испытания на изгиб силой $F$ в середине пролета

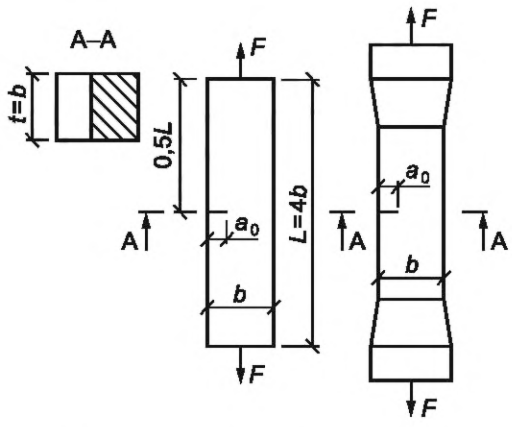



Рисунок 2 — Образец типа 2 — призма квадратного поперечного сечения для испытания на осевое растяжение силой $F$

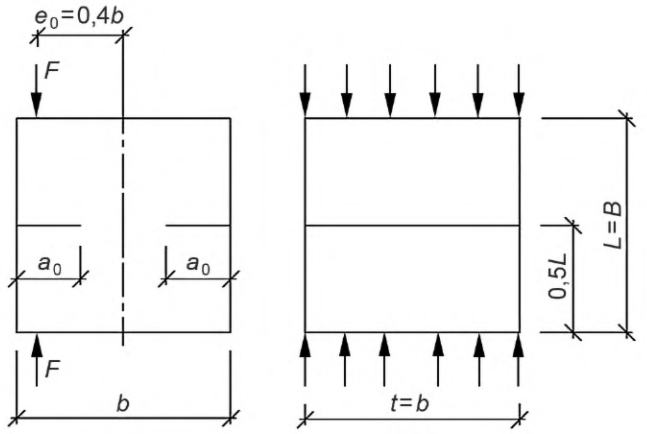



Рисунок 3 — Образец типа 3 — куб для испытаний на внецентренное сжатие силой $F$

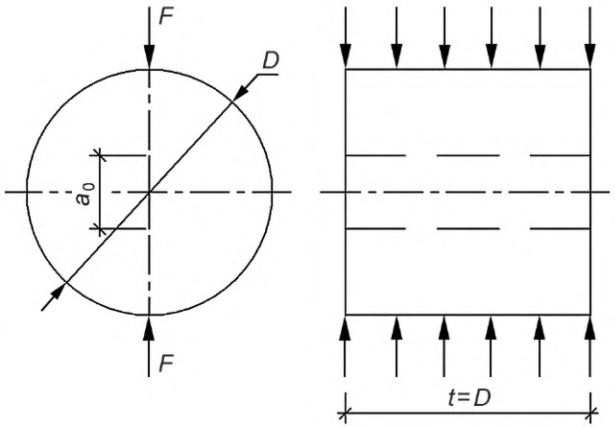



Рисунок 4 — Образец типа 4 — цилиндр для испытаний на растяжение при раскалывании

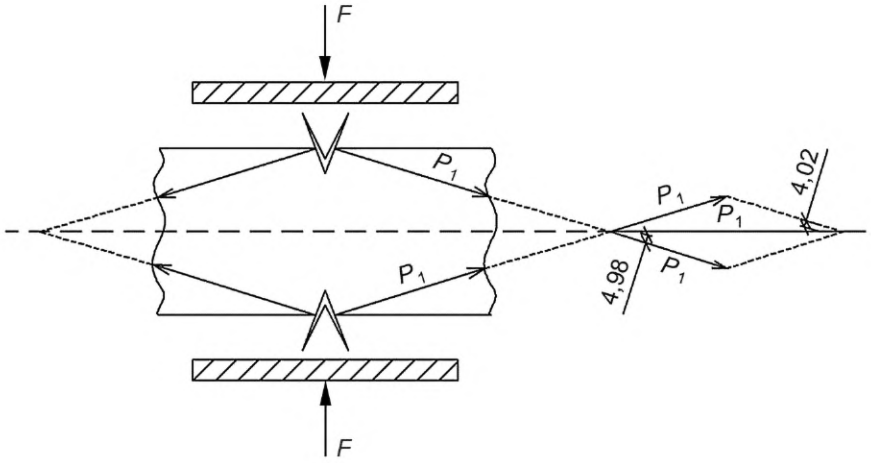
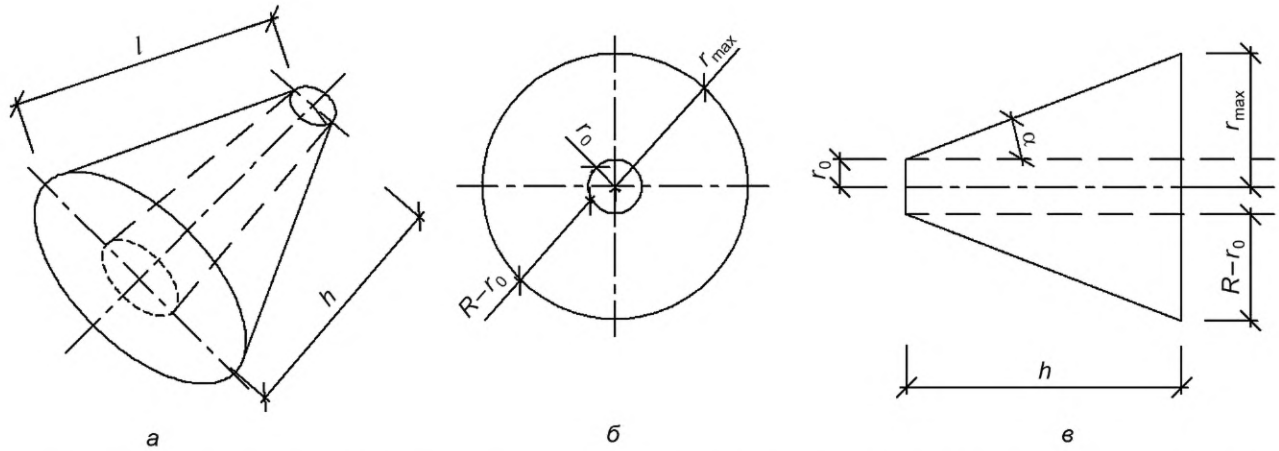


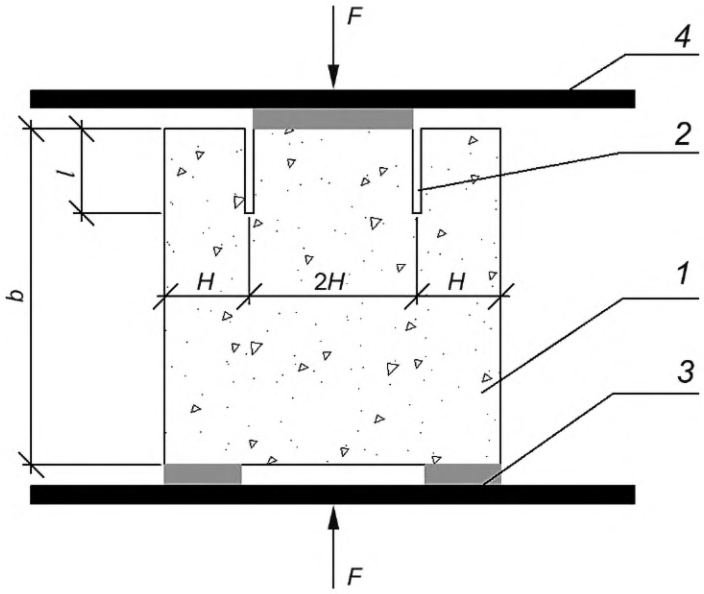

Рисунок 5 — Образец типа 5 — схема нагружения образца для расчета $K_{Ic}$




$l$ — длина образующей конуса разрушения; $h$ — длина шпура; $R$ — конус разрушения; $r_0$ — радиус шпура; $r_{max}$ — максимальный радиус конуса разрушения; α — угол между образующей конуса разрушения и стороной шпура

Примечание — $R - r_0$ — разность между конусом разрушения $R$ и радиусом шпура $r_0$.

Рисунок 6 — Схемы усеченного конуса вырыва: в аксонометрии (*а*), вид спереди (*б*), вид сбоку (*в*)




*1* — образец для испытания; *2* — надрез; *3* — прокладки; *4* — пластина пресса

Рисунок 7 — Образец типа 7 — схема нагружения образца для расчета $K_{IIc}$

Таблица 1

В миллиметрах

| Максимальный размер зерна заполнителя $d_{am}$ | Размеры | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Типы 1, 5 | | Тип 2 | | Типы 3, 7 | | Тип 4 | |
| | Образец | Начальный надрез | Образец | Начальный надрез | Образец | Начальный надрез | Образец | Начальный надрез |
| Менее 1,25 | 40 | 10/5 | 40 | 15 | 40 | 10 | 100 | 30 |
| 1,25—5,00 | 70 | 25/5 | 70 | 25 | 70 | 15 | | |
| 5,00—10,00 | 100 | 35/5 | 100 | 45 | 100 | 25 | | |
| 10,00—20,00 | 150 | 50/10 | 150 | 60 | 150 | 35 | 200 | 60 |
| 20,00—40,00 | 200 | 70/10 | 200 | 80 | 200 | 50 | | |
| 40,00—60,00 | 300 | 100/15 | 300 | 120 | 300 | 75 | 400 | 120 |
| 60,00—80,00 | 400 | 140/20 | 400 | 160 | — | — | | |
| Примечание — При неравновесных испытаниях образцов типа 1 допускается не образовывать верхний надрез ($a_{0t}$ = 0). | | | | | | | | |

5.4 Начальные надрезы наносят с помощью режущего инструмента или при формовании образцов путем закладывания фольги либо латунной (или стальной) пластины.

Ширина начального надреза не должна превышать $0{,}5d_{am}$ и 3 мм.

5.5 Образцы для испытаний изготовляют по ГОСТ 10180 сериями не менее чем из четырех образцов-близнецов каждая либо выбуривают (выпиливают) из изделий, конструкций, сооружений по ГОСТ 28570.

5.6 Для изготовления образцов используют оборудование и оснастку по ГОСТ 10180 и ГОСТ 28570.

5.7 Условия твердения образцов после изготовления, а также их подготовка к испытаниям должны соответствовать ГОСТ 18105.

5.8 Отбор образцов для испытания бетона конструкций выполняют в возрасте не менее проектного при нормальных условиях твердения, если не оговорено иное.

## 6 Испытательное оборудование

6.1 Перечень оборудования и его характеристики для изготовления образцов всех типов и их испытаний для определения характеристик трещиностойкости при неравновесных испытаниях принимают по ГОСТ 10180 и ГОСТ 28570.

6.2 Для определения характеристик трещиностойкости при равновесных испытаниях образцов типа 1 используют испытательное оборудование согласно приложению В; при этом средства измерений должны обеспечивать непрерывную двухкоординатную запись диаграммы *F*—*V* в соответствии со схемой коммутации аппаратуры согласно приложению Г.

6.3 Допускается использование других средств измерений, оборудования и приспособлений, если их технические характеристики удовлетворяют требованиям ГОСТ 10180 или ГОСТ 28570 и приложению В настоящего стандарта.

6.4 Правила поверки и аттестации средств измерений и испытательного оборудования принимают по ГОСТ 10180.

## 7 Проведение испытаний

7.1 При проведении испытаний температура окружающей среды должна составлять (20 ± 5) °С, а относительная влажность — не менее 50 %.

7.2 Линейные размеры образцов измеряют с погрешностью не выше 1 мм, их перемещения — 0,01 мм, а усилия, действующие на образец, — не более 1 % измеряемого максимального усилия.

7.3 Перед началом испытаний следует провести два цикла нагружения — разгружения до нагрузки, составляющей 10 % ожидаемой максимальной нагрузки.

7.4 Скорость нагружения образцов устанавливают по скорости перемещения нагружающей плиты пресса в пределах 0,02—0,20 мм/с; при этом время испытаний должно составлять не менее 1 мин.

7.5 При равновесных испытаниях образцы типа 1 нагружают непрерывно до их разделения на части с фиксацией полной диаграммы состояния материала *F*—*V* (рисунок 8, кривая *OTCDE*).

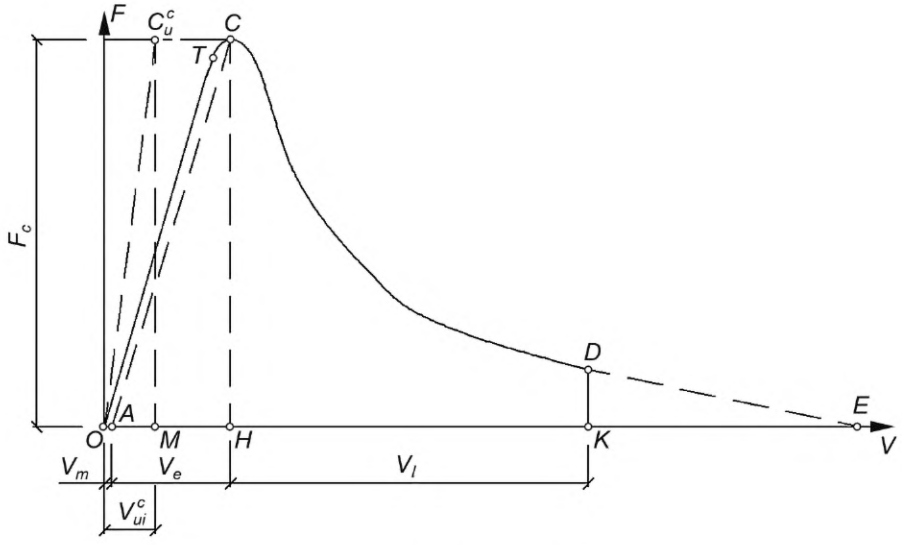



Рисунок 8 — Кривая *OTCDE*

Для определения значений $R_c$, $G_{ce}$ на стадии локального деформирования производят пять — семь кратковременных разгружений образцов для определения направлений линий разгрузок (например, линия *XX"* на рисунке 9) с фиксацией полной диаграммы состояния материала *F*—*V* (рисунок 9, кривая *OTCXDE*).

При равновесных испытаниях образцов типа 1 с $b \geq 200$ мм проводят поправку на массу образца и дополнительного оборудования согласно приложению Г.

7.6 При неравновесных испытаниях образцы типов 1—7 нагружают непрерывно вплоть до их разделения на части с фиксацией значения $F_c^*$.

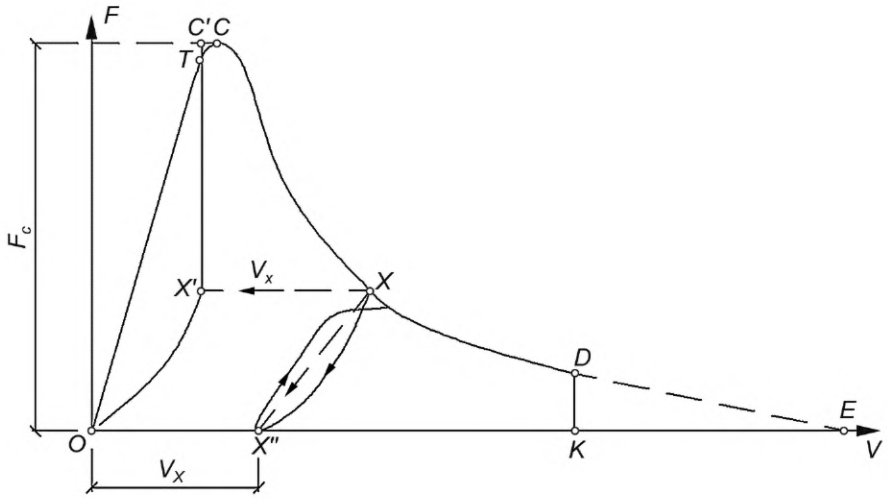



Рисунок 9 — Кривая *OTCXDE*

## 8 Обработка результатов

### 8.1 Определение характеристик трещиностойкости по результатам равновесных испытаний образцов типа 1

8.1.1 Полную диаграмму состояния трансформируют в расчетную и выполняют дополнительные построения (см. рисунок 8):

а) с начала прямолинейного нисходящего участка диаграммы, то есть из точки *D*, где выполняется условие $\left(\frac{dF}{dV}\right) \sim \text{const}$, проводят отрезок *DK*, перпендикулярный к оси *OV*;

б) фиксируют расчетную диаграмму *OTCDK*;

в) из точки *C* опускают перпендикуляр *CH* к оси *OV* и линию *CA*, параллельную упругой линии *OT*;

г) величину отрезка *OM* определяют по формуле

$$V_{ui}^{c} = V_e \frac{1+2{,}8\varphi^2}{1+2{,}8\varphi^2+6\varphi\left[\left(\frac{\lambda}{1-\lambda}\right)^2(5{,}58-19{,}57\lambda+36{,}82\lambda^2-34{,}94\lambda^3+12{,}77\lambda^4)\right]}; \quad (1)$$

д) из точки *M* восстанавливают перпендикуляр $MC_u^c$ к оси *OV* до пересечения с линией $CC_u^c$, параллельной оси *OV*. Точку *O* соединяют с точкой $C_u^c$ отрезком $OC_u^c$;

е) для определения величин $K_c$, $G_{ce}$ из расчетной полной диаграммы построением выделяют полную упругую диаграмму *OTC'X'O* (см. рисунок 9), для чего используют направления линий разгрузок, например точку разгрузки *X* переносят по линии, параллельной оси *OV*, в положение *X'* на величину, равную $V_x$.

8.1.2 Расчетным путем или планиметрированием определяют энергозатраты на отдельные этапы деформирования и разрушения образца, а именно: $W_m$, $W_e$, $W_l$, $W_{ul}$, $W_{ce}$ соответственно, численно равные площадям фигур *OTCA*, *ACH*, *HCDK*, $OC_u^cM$ на рисунке 8 и *OTC'X'O* на рисунке 9.

8.1.3 Расчетным путем определяют значения силовых и энергетических характеристик трещиностойкости по зависимостям:

$$G_l = \frac{W_m + W_e}{t(b - a_0 - a_{0t})}, \quad (2)$$

$$G_F = \frac{W_e + W_l}{t(b - a_0 - a_{0t})}, \quad (3)$$

$$G_{ce} = \frac{W_{ce}}{t(b - a_0 - a_{0t})}, \quad (4)$$

$$J_i = \frac{W_m + W_e - W_{ui}^c}{t(b - a_0 - a_{0t})}, \quad (5)$$

$$K_i = \sqrt{G_i E_b}, \quad (6)$$

$$K_c = \sqrt{G_{se} E_b}, \quad (7)$$

$$\chi_F^c = \frac{G_F E_b}{R_{bt}^2}. \quad (8)$$

8.2 Характеристики трещиностойкости $K_c^*$ по результатам неравновесных испытаний образцов типов 1—7 определяют по зависимостям:

- для образца типа 1

$$K_c^* = \frac{3F_c^* L_0}{2b^{1/2}t}\sqrt{a_0/b}(1{,}93 - 3{,}07\lambda + 14{,}53\lambda^2 - 25{,}11\lambda^3 + 25{,}8\lambda^4); \quad (9)$$

- для образца типа 2

$$K_c^* = \frac{F_c^*}{b^{1/2}t}\sqrt{\frac{\pi\lambda}{1-\lambda^3}}; \quad (10)$$

- для образца типа 3

$$K_c^* = \frac{F_c^*}{b^{1/2}t}(1{,}83\lambda^{1/2} - 430\lambda^{3/2} + 3445\lambda^{5/2} - 11076\lambda^{7/2} + 12967\lambda^{9/2}); \quad (11)$$

- для образца типа 4

$$K_c^* = \frac{F_c^*}{D^{1/2}t}\sqrt{\frac{2(a_0/D)}{\pi[1-(a_0/D)]}}; \quad (12)$$

- для образца типа 5

$$K_{Ic} = \frac{F_c}{b\cdot(h-2a_{cr})}\cdot\frac{(\cos\alpha/2 - f\sin\alpha/2)}{(\cos\alpha/2 + f\sin\alpha/2)}\cdot\sqrt{\frac{2\pi k d_{max}}{(1+\nu)(1-2\nu)}}, \quad (13)$$

где $F_c$ — разрушающая нагрузка, МН;

$b$ — ширина образца, м;

$h$ — высота образца, м;

$a$ — глубина надреза (паза), м;

$\alpha$ — угол клиновидного паза, град;

$f$ — коэффициент трения между поверхностями паза и клина;

$\pi$ — математическая константа, равная 3,14;

$d_{max}$ — максимальный размер заполнителя, м (при $d_{max} \geq 0{,}02$ м, $k = 1{,}2$);

$\nu$ — коэффициент Пуассона;

- для образца типа 6

$$K_{Ic} = \frac{3P[\cos^2(90-\alpha) - \sin^2(90-\alpha)]}{2\pi h^2\left(1 + \frac{r_0}{r_0 + h\cdot\mathrm{tg}\alpha}\right)^5}\cdot\sqrt{2\pi l}\left[\frac{0{,}8}{\left(\frac{R}{l}\right)^3 - 1} + 0{,}7\right], \quad (14)$$

где $P$ — усилие вырыва, МН;

$\alpha$ — угол между образующей конуса разрушения и стороной шпура;

$$\alpha = \mathrm{arctg}\left(\frac{R}{h}\right);$$

- для образца типа 7

$$K_{IIc} = \frac{F_c}{2tH}\sqrt{l \cdot Y(l,b)}, \quad (15)$$

где $F_c$ — нагрузка, при которой происходит разрушение, Н;

$t$ — толщина изделия, м;

$H$ — ширина плеча изделия, м;

$l$ — глубина надреза, м;

$Y(l, b)$ — поправочный коэффициент (определяют по таблице 2).

Коэффициент трения $f$ в формуле (13) следует определять по нормативному документу*, распространяющемуся на метод оценки скользкости покрытий, действующему на территории государства — участника Соглашения, принявшего настоящий стандарт. Допускается для тяжелых бетонов класса по прочности на сжатие не выше В60 принимать его равным 0,45.

Таблица 2 — Значения поправочного коэффициента $Y(l, b)$

| $l/b$ | $H$ | | |
|---|---|---|---|
| | 0,037 | 0,025 | 0,012 |
| 0,1 | 1,2 | 1,1 | 1,07 |
| 0,2 | 1,26 | 0,99 | 0,9 |
| 0,3 | 1,3 | 0,95 | 0,76 |
| 0,4 | 1,32 | 0,95 | 0,65 |

* В Российской Федерации действует ГОСТ Р 55908—2013 «Полы. Метод оценки скользкости покрытия».

**Приложение А**
**(рекомендуемое)**

## Определение характеристик трещиностойкости при равновесных испытаниях образцов с фиксацией размеров развивающейся магистральной трещины и соответствующих значений прилагаемой нагрузки

А.1 Для определения характеристик трещиностойкости проводят поэтапное нагружение (с выдержками продолжительностью 60—120 с и фиксацией текущих значений $F_{ij}$ и $\alpha_{ij}$) образцов типов:

5 — для испытаний на осевое сжатие (рисунок А.1);

6 — для испытаний на растяжение при внецентренном сжатии (рисунок А.2).

А.2 Соотношение размеров и схемы нагружения образцов приведены на рисунках А.1 и А.2.

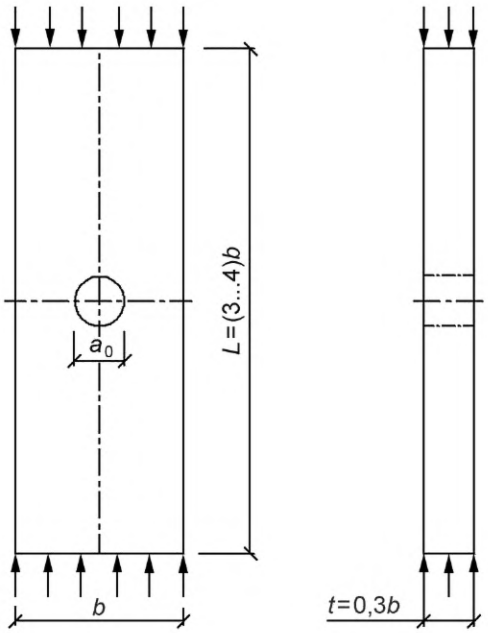



Рисунок А.1 — Тип 8 — образец-призма прямоугольного поперечного сечения для испытаний на осевое сжатие

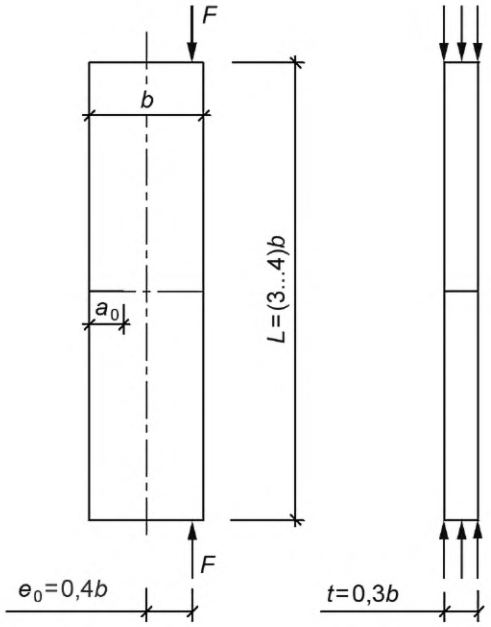



Рисунок А.2 — Тип 9 — образец-призма прямоугольного поперечного сечения для испытаний на растяжение при внецентренном сжатии

Минимальные размеры образцов:

- типа 8 — $b \geq 12\ d_{am}$;
- типа 9 — $b \geq 15\ d_{am}$.

А.3 Для определения значений $a_{ij}$ применяют капиллярный и оптический способы.

Капиллярный способ основан на эффекте капиллярной адсорбции подкрашенных, люминесцирующих или быстроиспаряющихся жидкостей в трещины. На поверхность образца наносят кистью ацетон, который испаряется с поверхности быстрее, чем из трещины, что позволяет идентифицировать длину развивающейся магистральной трещины.

Оптический способ основан на использовании средств оптической микроскопии; следует применять микроскопы с увеличением минимум $20^{\times}$ по ГОСТ 8074.

### А.4 Определение характеристик трещиностойкости

А.4.1 Для каждого этапа нагружения определяют значение $K_{ij}$ по зависимостям:

- для образца типа 8

$$K_{ij} = \frac{F_{ij}\pi^{\frac{1}{2}}}{tb^{\frac{1}{2}}}(1+2\lambda)\left[2(1+2\lambda+2\lambda^2)^2\sqrt{\frac{2(1+2\lambda)}{1-(1+2\lambda)^{-4}}}\right]^{-1}; \quad (А.1)$$

- для образца типа 9

$$K_{ij} = \frac{F_{ij}\lambda^{1/2}}{tb^{1/2}}\left(\frac{6e_0}{b}y_1 - y_2\right), \quad (А.2)$$

где $y_1 = 1{,}99 - 2{,}47\lambda + 12{,}97\lambda^2 - 23{,}17\lambda^3 + 24{,}8\lambda^4$, (А.3)

$y_2 = 1{,}99 - 0{,}41\lambda + 18{,}7\lambda^2 - 38{,}48\lambda^3 + 53{,}85\lambda^4$, (А.4)

$\lambda = {}^{\alpha_{ij}}/_{b}$. (А.5)

А.4.2 По результатам А.4.1 строят зависимость $K_{ij}$ — $a_{ij}$; за величину $K_i$ принимают среднее значение $K_{ij}$ на участке зависимости, где тангенс угла наклона построенной зависимости отличается от нуля не более чем на 8 %.

## Приложение Б
## (рекомендуемое)

## Определение предела прочности на растяжение и начального модуля упругости

Б.1 Значение $R_{bt}$ определяют при равновесных испытаниях образцов типов 1, 5, 6 (согласно приложению А) по формуле

$$R_{bt} = (0{,}77K_i)/\sqrt{2{,}6\pi d_{am}}. \quad (Б.1)$$

Б.2 Значение $R_{btf}$ определяют при равновесных испытаниях образцов типа 1 по формуле

$$R_{btf} = \frac{3F_cL_0}{2b(h - a_0 - a_{0f})^2[(1-\lambda)^2(1{,}93 - 3{,}07\lambda + 14{,}53\lambda^2 - 25{,}11\lambda^3 - 25{,}8\lambda^4)]}. \quad (Б.2)$$

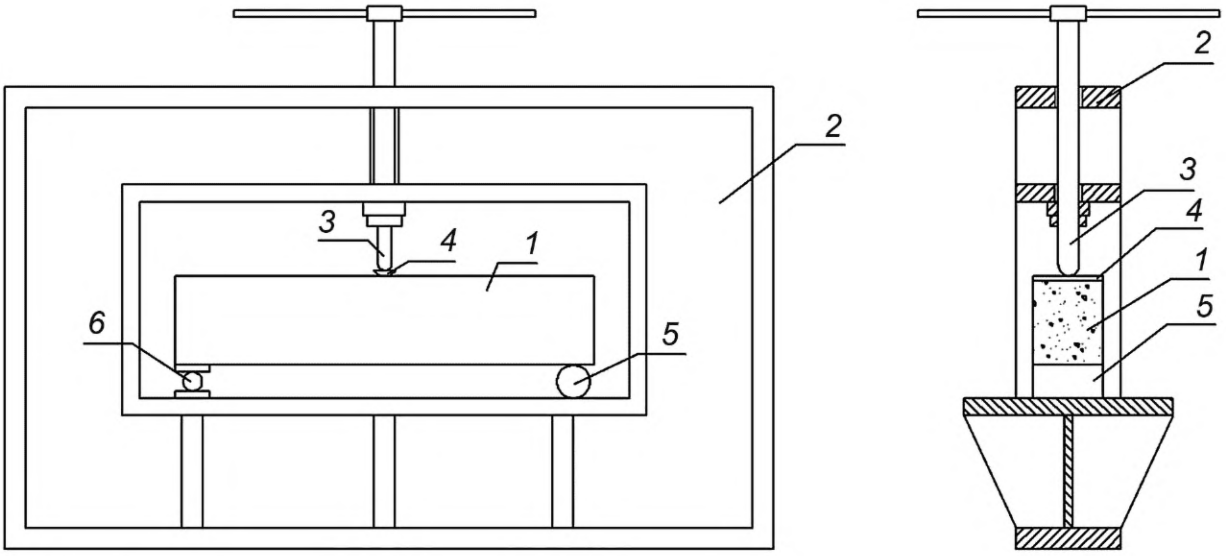
Б.3 Значение $E_b$ определяют при равновесных испытаниях образцов типа 1 с $\lambda \sim 0{,}1$—$0{,}5$ по формуле

$$E_b = \frac{E_lL_0^3\mathrm{tg}\alpha}{4tb^3}\left\{\frac{3\lambda(4\lambda^2 - 5\lambda + 2)}{(1-\lambda)^2} + (1-2\lambda)^3 - 12[\lambda^2 + 2\lambda + 2\ln(1-\lambda)]\right. . \quad (Б.3)$$

**Приложение В**
**(обязательное)**

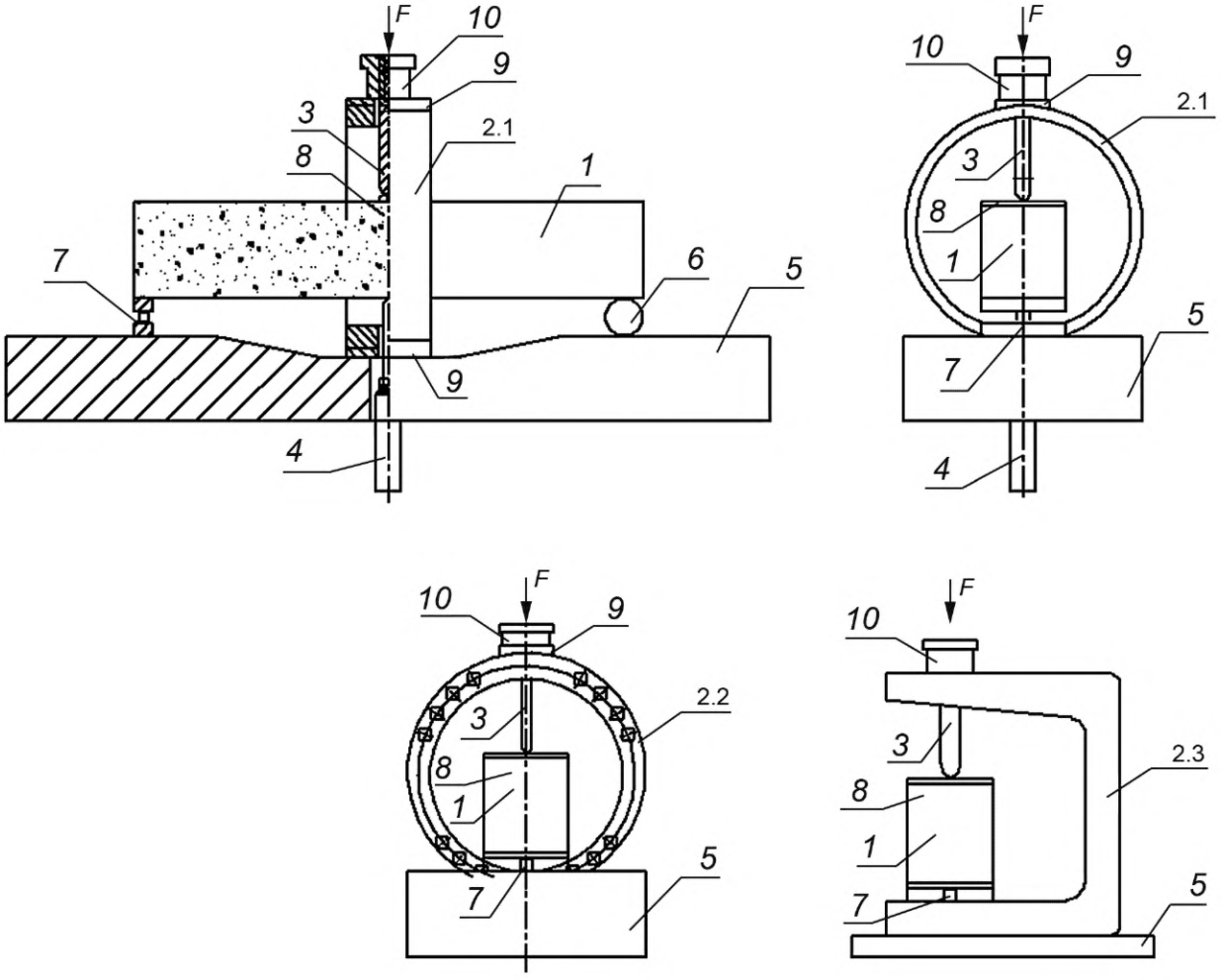
## Испытательное оборудование для определения характеристик трещиностойкости при равновесных испытаниях образцов типа 1

Для определения характеристик трещиностойкости при равновесных испытаниях образцов типа 1 используют испытательные машины со следящей системой и быстродействующей обратной связью или испытательные машины, обладающие высокой жесткостью, не менее чем в два раза превышающей начальную жесткость образца (рисунок В.1), или стандартные испытательные машины по 6.1, оборудованные дополнительным перераспределяющим устройством (рисунок В.2) типа «кольцо», включающим в себя: силовой элемент — кольцо; нагружающий силоизмеритель — шток; датчик перемещения; опорную плиту с шарнирной и роликовой опорами.




*1* — образец; *2* — загружающее устройство; *3* — нагружающий винтовой силоизмерительный шток; *4* — распределительная балка; *5* — роликовая опора; *6* — шарнирная опора

Рисунок В.1




*1* — образец; *2* — дополнительное перераспределяющее устройство типов: «кольцо» (2.1), «кольцо в кольце» (2.2), «скоба» (2.3); *3* — нагружающий силоизмерительный шток; *4* — датчик перемещений; *5* — станина; *6* — роликовая опора; *7* — шарнирная опора; *8* — распределительная балка; *9* — фиксирующие накладки; *10* — фиксатор нагружающего силоизмерительного штока

Рисунок В.2

**Приложение Г**
**(обязательное)**

## Поправка на массу образца и дополнительного оборудования

При равновесных испытаниях образцов типа 1 с $b \geq 200$ мм перед определением характеристик трещиностойкости вносят поправку на массу образца и распределительной балки.

Для этого полную диаграмму состояния материала (кривая *STCDA* на рисунке Г.1) трансформируют в расчетную (кривая *OSTCDK*) следующим образом:

- точку *S* по упругой линии *ST* переносят в положение точки *O* на величину $F_s$, откладываемую на оси *F*, равную

$$F_s = [m_1(L_0/L) + m_2]g, \qquad (Г.1)$$

- проводят оси *OF* и *OV*, параллельные *SF* и *SV* соответственно;
- с начала прямолинейного нисходящего участка диаграммы, т.е. из точки *D*, где выполняется условие $(dF/dV) \sim \text{const}$, проводят отрезок *DK*, перпендикулярный оси *OV*;
- фиксируют расчетную диаграмму *OSTCDK*.

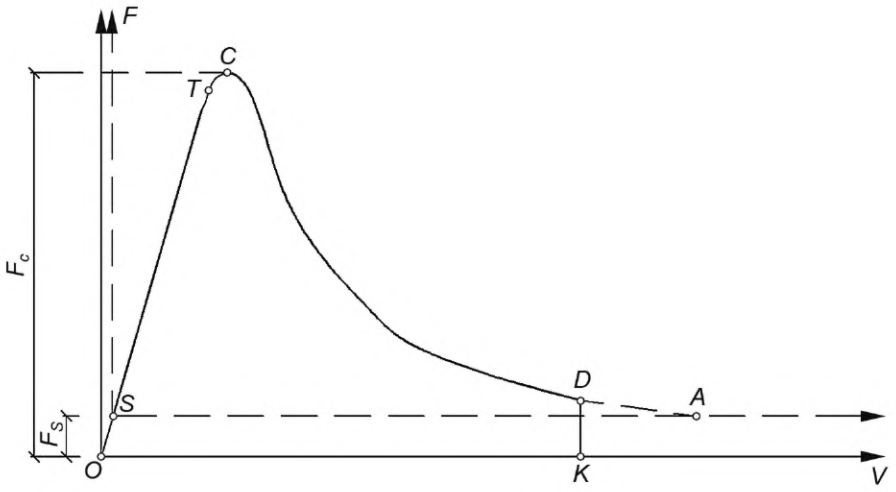



Рисунок Г.1

УДК 691.32+624.048:006.354 МКС 91.100.30

Ключевые слова: бетоны, трещиностойкость, вязкость разрушения, предел прочности на растяжение, статическое нагружение, испытания

Редактор *Л.В. Коретникова*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *И.А. Королева*
Компьютерная верстка *Г.Р. Арифулина*

Сдано в набор 17.12.2021. Подписано в печать 13.01.2022. Формат 60 × 84 1/8. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 2,32. Уч.-изд. л. 2,10.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении в ФГБУ «РСТ»
для комплектования Федерального информационного фонда стандартов,
117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

**Поправка к ГОСТ 29167—2021 Бетоны. Методы определения характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения) при статическом нагружении**

| В каком месте | Напечатано | Должно быть |
|---|---|---|
| Предисловие. Таблица согласования | — | Узбекистан \| UZ \| Узстандарт |

(ИУС № 6 2022 г.)

gost.e-ecolog.ru