

МОНГОЛ УЛСЫН СТАНДАРТ

ЦАХИЛГААНЫ ОРУУЛГЫН ГАЗАР ХӨДЛӨЛТИЙГ

ТЭСВЭРЛЭХ ЧАДВАРЫН ҮНЭЛГЭЭ

BUSHINGS-SEISMIC QUALIFICATION

MNS IEC TR 61463: 2021

Албан хэвлэл

СТАНДАРТ, ХЭМЖИЛ ЗҮЙН ГАЗАР

Улаанбаатар хот

2021 он

	Хуудас
Өмнөх үг _____	4
Оршил _____	6
1. Хамрах хүрээ _____	13
2. Норматив ишлэл _____	13
3. Нэр томъёоны тодорхойлолт _____	15
4. Тэмдэглэгээ ба товчлол _____	15
5. Газар хөдлөлтийг тэсвэрлэх чадварыг үнэлэх аргууд _____	17
6. Хурдатгалын хэмжээ (газар хөдлөлтийн хүч) _____	18
6.1 Газарт _____	18
6.2 Оруулгын фланцад _____	19
7. Статик тооцоогоор үнэлэх _____	20
8. Динамик дүн шинжилгээгээр үнэлэх _____	22
8.1 Цаг хугацааны судалгааны аргыг ашигласан дүн шинжилгээ _____	23
8.2 Хариу үйлдлийн хамрах хүрээг /ШХҮХ/ ашигласан дүн шинжилгээ _____	24
9. Чичиргээний туршилтаар үнэлэх _____	24
9.1 Ерөнхий зүйл _____	24
9.2 Иж бүрэн аппарат дээрх туршилт _____	28
9.3 Загварчилсан тулгуурт суурилуулсан оруулгын туршилт _____	28
9.4 Дан ганц оруулга дээрх туршилт _____	28
10. Газар хөдлөлтийг тэсвэрлэх чадварын үнэлгээний дүгнэлт _____	29
10.1 Нийлмэл механик ачаалал _____	29
10.2 Кронштейн туршилт _____	30
10.3 Шалгуур үзүүлэлтүүд _____	30
11. Мэдээлэл солилцох _____	32
11.1 Тоног төхөөрөмж үйлдвэрлэгчээс өгөх мэдээлэл _____	32

MNS IEC 61463:2020

11.2 Оруулга үйлдвэрлэгчээс өгөх мэдээлэл _____ 32

ЗУРАГ

1. Газарт суурилуулсан тоног төхөөрөмжийн ШХҮХ _____ 35

2. Хариу үйлдлийн фактор _____ 36

3. Энэ стандартын 9.3-ын дагуу хийгдсэн дуураймал тулгуур бүхий туршилт _____ 37

4. Хурдатгалын хэмжээг тодорхойлох _____ 38

ХАВСРАЛТ

A Чичирхийллийн үнэлгээний бүдүүвч _____ 39

B Чөлөөт хэлбэлзлийн туршилт _____ 41

C Хүндийн төв дэх хэлбэлзэл _____ 45

D Статик тооцоогоор үнэлэх - Трансформаторын оруулга дээрх жишээ _____ 53

CONTENTS

	Page
FOREWORD _____	4
INTRODUCTION _____	6
1. Scope _____	13
2. Normative references _____	13
3. Definitions _____	15
4. Symbols and abbreviations _____	15
5. Methods of seismic qualification _____	17
6. Severities _____	18
6.1 At the ground _____	18
6.2 At the bushing flange _____	19
7. Qualification by static calculation _____	20
8. Qualification by dynamic calculation _____	22
8.1 Modal analysis using the time-history method _____	23
8.2 Modal analysis using the RRS _____	24
9. Qualification by vibration test _____	24
9.1 General _____	24
9.2 Test on the complete apparatus _____	28
9.3 Test on the bushing mounted on a simulating support _____	28
9.4 Test on the bushing alone _____	28
10. Evaluation of the seismic qualification _____	29
10.1 Combination of stresses _____	29
10.2 Cantilever test _____	30
10.3 Acceptance criteria _____	30
11. Necessary exchange of information _____	32
11.1 Information supplied by the apparatus manufacturer _____	32

MNS IEC 61463:2020

11.2 Information supplied by the bushing manufacturer_____32

Figures

1. RRS for ground mounted equipment_____35

2. Response factor R_____36

3. Test with simulating support according to 9.3_____37

4. Determination of the severity_____38

Annexes

A Flow chart for seismic qualification_____40

B Free oscillation test_____43

C Oscillation at the centre of gravity_____49

D Qualification by static calculation-Example on transformer bushing_____57

Ангилалтын код

Цахилгааны оруулгын газар хөдлөлтийг тэсвэрлэх чадварын үнэлгээ	MNS IEC TR 61463: 2021
Bushings-Seismic qualification	IEC TR 61463 : 2017

Стандартчиллын үндэсний зөвлөлийн 2021 оны ... дугаар сарын ... -ны өдрийн ... дугаар тогтоолоор батлав.

Энэ стандартыг 2021 оны ... дүгээр сарын ...-ний өдрөөс эхлэн дагаж мөрдөнө.

1 ХАМРАХ ХҮРЭЭ

Энэхүү техникийн тайланг трансформатор болон бусад тоног төхөөрөмж, барилгад суурилуулсан 52 кВ-оос дээш хэвийн хүчдэлтэй хувьсах болон тогтмол гүйдлийн оруулгад хэрэглэнэ. Түүнчлэн 52 кВ хүртэлх хэвийн хүчдэлтэй оруулгад ашиглаж болох ба тэдгээр нь 25 Гц-ээс дээш резонансын давтамжтай байдаг шинж чанартай уялдуулан газар хөдлөлтийг тэсвэрлэх чадварын үнэлгээ хийх шаардлагагүй гэж үздэг.

Энэхүү стандартад тухайн оруулга нь газар хөдлөлтийн үед болон дараа механик болон гүйдэл дамжуулах, тусгаарлах шинж чанараа хадгалах чадвартай эсэхийг тодорхойлох арга, шаардлагууд тусгагдсан.

Оруулгын газар хөдлөлтийг тэсвэрлэх чадварын үнэлгээг зөвхөн захиалагчийн хүсэлтийн дагуу гүйцэтгэнэ.

2 НОРМАТИВ ИШЛЭЛ

Дараах норматив баримт бичгүүдийн зарим заалтууд нь энэ стандартад иш татагдсан ба тэдгээр нь энэ стандартын бүрэлдэхүүн хэсэг болно. Энэ стандарт нийтлэгдэх бүрд энэхүү хэвлэл хүчин төгөлдөр байна. Бүх норматив баримт

1 SCOPE

This technical report is applicable to alternating current and direct current bushings for rated voltages above 52 kV, mounted on transformers, other apparatus or buildings. It is accepted that for bushings for rated voltages less than or equal to 52 kV, due to their characteristics (resonance frequency greater than 25 Hz) seismic qualification is not required.

This technical report presents acceptable seismic qualification methods and requirements to demonstrate that a bushing can maintain its mechanical properties, insulate and carry current during and after an earthquake.

The seismic qualification of a bushing is only performed upon request.

2 NORMATIVE REFERENCES

The following normative documents contain provisions which, through reference in this text constitute provisions of this technical report. At the time of publication, the editions indicated were valid. All normative

MNS IEC 61463:2020

бичгүүд хянан засварлагддаг бөгөөд энэхүү техникийн тайланд оролцогч талууд дор заасан баримт бичгийн хамгийн сүүлчийн хэвлэлийг хэрэглэх боломжоор хангагдсан эсэхийг судалж үзвэл зохино.

ОУЦТК болон ОУСБ-ын гишүүд нь хүчин төгөлдөр мөрдөж байгаа олон улсын стандартын бүртгэлийг хөтөлдөг.

IEC 68-2-6:1995, Орчны туршилт, 2 дугаар хэсэг: Туршилтууд - F_c туршилт: Чичиргээ (синусоид)

IEC 68-2-47:1982, Анхан шатны орчны туршилт хийх журам, 2 дугаар хэсэг: Туршилт - Хүчтэй доргилт (E_a), зөөлөн цохилт (E_b), чичиргээ (F_c and F_d) болон тогтвортой төлөв байдлын хурдатгал (G_a) зэрэг динамик туршилтыг даахуйц эд анги, тоног төхөөрөмж, бусад зүйлийг суурилуулах удирдамж

IEC 68-2-59:1990, Орчны туршилт-2 дугаар хэсэг: Туршилтын аргууд - F_e туршилт: Чичирхийлэл - Синусоид - хэмнэлийн арга

IEC 68-3-3:1991, Орчны туршилт - 3 дугаар хэсэг: Удирдамж - тоног төхөөрөмжийн газар хөдлөлтийн туршилтын аргууд

IEC 137:1995, 1000В-оос дээш хувьсах хүчдэлд зориулсан тусгаарлагч бүхий оруулга

IEC 721-2-6:1990, Орчны нөхцөлийн ангилал - 2 дугаар хэсэг: Орчны бодит нөхцөл - Газар хөдлөлтийн чичирхийлэл болон хүчтэй доргилт

IEC 1166:1993, Өндөр хүчдэлийн хувьсах гүйдлийн таслуур - Өндөр хүчдэлийн хувьсах гүйдлийн таслуурын газар хөдлөлтийг тэсвэрлэх чадварын

documents are subject to revision, and parties to agreements based on this technical report are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the normative documents indicated below.

Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

IEC 68-2-6: 1995, Environmental testing - Part 2: Tests-Test F_c : Vibration (sinusoidal)

IEC 68-2-47:1982, Basic environmental testing procedures - Part 2: Tests - Mounting of components, equipment and other articles for dynamic tests including shock (E_a), bump (E_b), vibration (F_c and F_d) and steady-state acceleration (G_a) and guidance

IEC 68-2-59:1990, Environmental testing - Part 2: Test methods - Test F_e : Vibration - Sine-beat method

IEC 68-3-3:1991, Environmental testing -Part 3: Guidance-Seismic test methods for equipments

IEC 137:1995, Insulated bushings for alternating voltages above 1000V

IEC 721-2-6:1990, Classification of environmental conditions-Part 2: Environmental conditions appearing in nature-Earthquake vibration and shock

IEC 1166:1993, High-voltage alternating current circuit-breakers-Guide for seismic qualification of high-voltage alternating current circuit-breakers

MNS IEC 61463:2020

үнэлгээний удирдамж

IEC 1264:1994, Өндөр хүчдэлийн хуваарилах байгууламж болон удирдлагын самбарт зориулсан дотоод даралт бүхий шаазан тусгаарлагч

ISO 2041: 1990, Чичирхийлэл болон хүчтэй доргилт - Нэр томьёо

3. НЭР ТОМЬЁНЫ ТОДОРХОЙЛОЛТ

Энэ стандартад IEC 68-3-3 болон ISO 2041 стандартад заасан болон доорхи тодорхойлолтуудыг хэрэглэнэ. Үүнд:

3.1 критик хөндлөн огтлол: Газар хөдлөлтийн үед гэмтэх хамгийн их магадлалтай оруулгын хэсэг.

3.2 хариу үйлдлийн хүрээ: Тусгай сааруулах хүч бүхий орчинд чөлөөт биеийг тодорхой хүчээр нэг чиглэлд хөдөлгөхөд үүсэх хамгийн их хариу үйлдлийн талбар. (ISO 2041, өөрчлөлт оруулсан)

3.3 Хөшүүн тоног төхөөрөмж: Энэ стандартад 25 Гц-ээс их хэвийн давтамжтай тоног төхөөрөмжийг хөшүүн гэж тооцно.

4 ТЭМДЭГЛЭГЭЭ БА ТОВЧЛОЛ

a_{bg} - Газар хөдлөлтийн үед оруулгын хүндийн хүчний төв рүү чиглэх хамгийн их эквивалент хурдатгал

a_{cg} - фланцтай нь харьцуулсан оруулгын хүндийн төвийн бодит хурдатгал

a_f - Оруулгын фланцын хамгийн их хурдатгал

a_g - Тухайн газар хөдлөлтийн үр дүнд үүсэх хөрсний шилжилтийн хамгийн их хурдатгал

IEC 1264:1994, Ceramic pressurized hollow insulators for high-voltage switchgear and controlgear

ISO 2041: 1990, Vibration and shock – Vocabulary

3. DEFINITIONS

For the purpose of this technical report the definitions of IEC 68-3-3 and ISO 2041, and the following definitions apply:

3.1 critical cross-section: Section of the bushing that is most likely to fail during an earthquake.

3.2 response spectrum: Plot of the maximum response to a defined input motion of a family of single-degree-of-freedom bodies at a specified damping ratio. (ISO 2041, modified)

3.3 rigid equipment: Equipment whose natural frequency is greater than 25 Hz is considered rigid for the purpose of this technical report.

4 SYMBOLS AND ABBREVIATIONS

a_{bg} - Equivalent maximum acceleration to the centre of gravity of the bushing during the seismic event

a_{cg} - Actual acceleration of the centre of gravity of the bushing relative to its flange

a_f - Maximum acceleration of the bushing flange

a_g - Maximum acceleration of the ground resulting from the motion of a given earthquake

MNS IEC 61463:2020

ТАЙЛБАР: a_g нь 1 дүгээр зургийн Тэг Үеийн Хурдатгал (ТҮХ)-тай тэнцүү.

d_p - Тухайн оруулгын тухайн хэсгийн хүндийн төв болон критик хөндлөн огтлолын талбайн хэсэг хоорондын зай

f -Суурилагдсан оруулгын эхний бодит давтамж

K -Газар ба оруулгын фланцын хоорондох өндрийн коэффициент: Барилга болон бүтцийн хэлбэлзлээс хамаарч газраас фланц хүртэлх хурдатгалын өөрчлөлтийг тооцох коэффициент

m_p - Оруулгын тухайн хэсгийн масс

R - Хариу үйлдлийн хурдатгал болон ТҮХ хоорондын харьцаа буюу Шаардлагатай Хариу Үйлдлийн хамрах хүрээ (ШХҮХ)-ээр тодорхойлогдох хариу үйлдлийн коэффициент (2 дугаар зургийг үзнэ үү)

ШХҮХ - Шаардлагатай Хариу Үйлдлийн хамрах хүрээ: хэрэглэгчийн тодорхойлсон хариу үйлдлийн хүрээ

S_c - Олон төрлийн давтамжийн өдөөлт ба олон горимын үед хариу үйлдлийн нөлөөллийг тооцох коэффициент

ТҮХ-Тэг Үеийн Хурдатгал (a_g - г үзнэ үү)

5. ГАЗАР ХӨДЛӨЛТИЙГ ТЭСВЭРЛЭХ ЧАДВАРЫН ҮНЭЛГЭЭНИЙ АРГА

Газар хөдлөлтийг тэсвэрлэх чадварын үнэлгээгээр тодорхой заагдсан хурдатгал (энэ стандартын 6 дугаар зүйл) бүхий тухайн оруулга нь газар хөдлөлтийн үед болон дараа ямар нэг эвдрэлгүйгээр газар хөдлөлтийн нөлөөллийг тэсвэрлэж, өөрийн үйл ажиллагааг хэвээр хадгалах чадварыг

NOTE - a_g is equal to the Zero Period Acceleration (ZPA) of figure 1.

d_p - Distance between the centre of gravity of the part of the bushing which is under consideration and the critical cross-section

f - First natural frequency of the mounted bushing

K -Superelevation factor between ground and bushing flange: factor accounting for the change in the acceleration from the ground to the flange due to the amplification by buildings and structures

m_p - Mass of the part of the bushing which is under consideration

R - Response factor derived from the Required Response Spectrum (RRS) as the ratio between the response acceleration and the ZPA (see figure 2)

RRS - Required Response Spectrum: response spectrum specified by the user

S_c - Coefficient established to take into account the effects of both multifrequency excitation and multimode response

ZPA- Zero Period Acceleration (see a_g)

5. METHODS OF SEISMIC QUALIFICATION

Seismic qualification should demonstrate the ability of a bushing to withstand seismic stresses and to maintain its required function without failure, during and after an earthquake of a specified severity (clause 6).

MNS IEC 61463:2020

харуулна.

Оруулгыг тоног төхөөрөмж дээр эсвэл барилгад суурилуулдаг тул оруулгын газар хөдлөлтийг тэсвэрлэх чадварыг үнэлэхдээ тухайн төхөөрөмж эсвэл барилгын хөдлөх шинж чанарыг тооцож үзвэл зохино. Газар хөдлөлтийн үеэр критик хөндлөн огтлолын хэсэгт нөлөөлөх бүх хэсгүүд (жишээ нь: хийн хөндийрүүлэгтэй оруулгын дамжуулагч болон дотоод орон зай)-ийг оруулгын газар хөдлөлтийг тэсвэрлэх чадварын үнэлгээ хийхдээ оруулж тооцох хэрэгтэй.

Энэхүү стандартад дараах гурван арга, тэдгээрийн хослуулсан хэрэглээг үзүүлэв.

Үүнд:

- статик тооцооны үнэлгээ (7 дугаар зүйл)
- динамик дүн шинжилгээний үнэлгээ (8 дугаар зүйл)
- чичирхийллийн туршилтын үнэлгээ (9 дүгээр зүйл)

Дараах тохиолдолд дээрх аргуудыг хослуулан хэрэглэж болно.

- зөвхөн туршилтаар үнэлэх боломжгүй оруулгыг үнэлэхэд (тухайлбал, төхөөрөмжийн хэмжээ хэт том, эсвэл төвөгшилтэй бүтэцтэй);
- газар хөдлөлтийн өөр нөхцөл байдалд нэгэнт туршигдсан оруулгыг үнэлэхэд;
- нэгэнт туршигдсан оруулгатай төстэй боловч динамик шинж чанарт нөлөөлөхүйц өөрчлөлт орсон (жишээ нь: масс, тусгаарлагчийн урт өөрчлөгдсөн) оруулгыг үнэлэхэд;

Дүн шинжилгээ хийх зорилгоор чичирхийллийн өгөгдөл (сааруулах хүч, аюултай давтамж, өгөх хурдатгалаас хамаарах функцээр илэрхийлсэн эрсдэлтэй элементүүдэд очих механик ачаалал)үүдийг дараах аргаар үүсгэж болно:

a) адил төстэй оруулга дээр динамик

As bushings are mounted on apparatus or buildings, the seismic qualification of the bushing must consider the behaviour of the apparatus or building. In the seismic qualification of a bushing all parts should be included, which contribute to the stresses in the critical cross-sections during a seismic event, e.g. the conductor and inner spacer in gas insulated bushings.

Three methods and combinations thereof are described in this technical report:

- qualification by static calculation (clause 7)
- qualification by dynamic analysis (clause 8)
- qualification by vibration test (clause 9)

A combination of the methods may be used:

- to qualify a bushing which cannot be qualified by testing alone (e.g. because of size and/or complexity of the apparatus);
- to qualify a bushing already tested under different seismic conditions;
- to qualify a bushing similar to a bushing already tested but which includes modifications influencing the dynamic behaviour (e.g. change in the length of insulators or in the mass).

Vibrational data (damping, critical frequencies, stresses of critical elements as a function of input acceleration) for analysis can be obtained by:

a) a dynamic test on a similar bushing;

MNS IEC 61463:2020

туршилт хийх;

b) бууруулсан түвшинд динамик туршилт хийх;

c) Бодит давтамж болон сааруулах хүчийг өөр туршилтаар тодорхойлох. Тухайлбал: чөлөөт хэлбэлзлийн туршилт (B хавсралтыг үзнэ үү) эсвэл бага зэргийн өдөөлт (IEC 1166 стандартын A.10 зүйлийг үзнэ үү).

Эдгээр аргын тусламжтайгаар оруулгын фланцын 2 талд бүх хэсэг тус бүрт M_s -ын утгыг тодорхойлно.

Энэ моментын үйлчлэлээр үүсэж буй ачаалал болон оруулгад үйлчилж буй бусад ачааллын нийлбэрийг оруулга тэсвэрлэх чадвартай байх ёстой (10 дугаар зүйлийг үзнэ үү).

Газар хөдлөлтийг тэсвэрлэх чадварыг үнэлэх хэд хэдэн аргыг A хавсралт дахь бүдүүвчид харуулав.

6 ХУРДАТГАЛЫН УТГУУД

6.1 Хөрсөн дээр

Хөрсний хурдатгал нь төхөөрөмжийн байршил дахь газар хөдлөлтийн нөхцлөөс хамаарна. Энэ нөхцөл тодорхой үед түүнтэй нийцэх үзүүлэлтээр хурдатгалыг тодорхойлж өгнө. Эсрэг тохиолдолд хурдатгалын утгыг 1 дүгээр хүснэгтээс сонгож авна.

Сонгосон үнэлгээний түвшин нь тухайн байршилд гарч болох хамгийн их хөрсний шилжилт бүхий газар хөдлөлттэй нийцэх ёстой. Энэ түвшин нь S_2 газар хөдлөлтөд хамаарна.

Үнэлгээ хийхэд дараах ойлголтыг хэрэглэнэ. Үүнд:

- 1 дүгээр хүснэгтэд заасан хэвтээ шилжилт аль ч чиглэлд гарч болно;
- Босоо шилжилтийн хурдатгалын утга

b) a dynamic test at reduced test level;

c) determination of natural frequencies and damping by other tests such as free oscillation tests (see annex B) or low level excitation (see clause A.10 of IEC 1166).

The methods result in the value of M_s which is determined for each part of the bushing on either side of the flange.

The stress due to this moment should be combined with the other stresses acting in the bushing and it should be demonstrated that the bushing withstands the combined stress (clause 10).

The different methods of seismic qualification are illustrated in the flow chart given in annex A.

6 SEVERITIES

6.1 At the ground

The ground acceleration depends upon the seismic conditions of the site where the apparatus is to be located. When it is known, it should be prescribed by the relevant specification. Otherwise the severity level should be selected from table 1.

The selected qualification level should be in accordance with expected earthquakes of maximum ground motions for the site location. This level corresponds to S_2 earthquakes.

For qualification it should be assumed that:

- the horizontal movements as described in table 1 act in any direction;
- the severities of the vertical

MNS IEC 61463:2020

нь хэвтээ хурдатгалын утгын 50%-тай тэнцүү байна;

- Босоо болон хэвтээ хурдатгалууд хамгийн их утгад байнга хүрч болно.

Хөрсний шилжилтийг бодит цаг хугацаа (мэдэгдэж байгаа үед)-гаар эсвэл ШХҮХ-тэй нийцэхүйц зохиомол цаг хугацаагаар тодорхойлж болно. Үүнийг динамик шинжилгээний эсвэл иж бүрэн төхөөрөмж дээрх чичирхийллийн туршилтын өгөгдөл маягаар ашиглагдана.

ТАЙЛБАР: Газар хөдлөлтийг тэсвэрлэх чадварын үнэлгээний түвшин, газар хөдлөлтийн бүс, шаталбарын хоорондох хамаарлын талаарх мэдээллийг IEC 721-2-6 болон IEC 68-3-3-д үзүүлэв.

6.2 Оруулгын фланц дээр

Оруулгын фланцад үүсэх хурдатгалын утгыг (4 дүгээр зургийг үзнэ үү) ШХҮХ эсвэл хамгийн их хурдатгал (a_f)-ын хэлбэрээр төхөөрөмж болон тоноглол (тухайлбал: трансформатор, хийн хөндийрүүлэгтэй дэд станц (ХХДС), барилга)-ыг үйлдвэрлэгчээс авах боломжтой байна. Ямар нэг мэдээлэлгүй тохиолдолд дараах хялбаршуулсан томъёог ашиглан оруулгын фланц дахь хурдатгалын утгыг тодорхойлж болно.

$$a_f = K \times a_g$$

- хөрсний харилцан үйлчлэлийг тооцож элемент бүрийн дүн шинжилгээгээр, эсвэл өөр ямар нэгэн нарийн загварчлалын аргаар тооцоолох, эсвэл

- харьцуулж болохуйц төсөөтэй тоног төхөөрөмж эсвэл бүтэц дээр хийсэн тооцоо, эсвэл туршилтын үр дүнгээс гаргаж авах, эсвэл

- туршлагаар олж авсан нийтлэг утгаас авах. Өнөөгийн нөхцөлд туршлага бага хуримтлагдсан байна. Суурь мэдээлэл хомс байгаа тохиолдолд K -г 1.5 байхаар

accelerations are 50 % of the horizontal;

- both directions may reach their maximum values simultaneously.

The ground motion can be described by natural time histories when known, or by artificial time histories, which should comply with the RRS; this is used as input for dynamic analysis or vibration test on the complete apparatus

NOTE: Information on the correlation between seismic qualification levels, seismic zone and seismic scales are given in IEC 721-2-6 and IEC 68-3-3.

6.2 At the bushing flange

The severity at the bushing flange (see figure 4) may be available from the manufacturer of the apparatus and structures (i.e. transformers, gas insulated substations (GIS), building) in terms of RRS or maximum acceleration (a_f). Where no information is available, the following simplified formula is used in order to establish an acceleration value at the flange of the bushing.

$$a_f = K \times a_g$$

- calculated by finite element analysis including soil interaction or any other careful modelling, or

- derived from results from calculations or tests on comparable apparatus or structures, or

- taken from typical values obtained from experience. So far very little experience is reported. Unless more background information is available, K

MNS IEC 61463:2020

тооцно. Мөн IEC 68-3-3-ын 8.2.5, 4 дүгээр хүснэгтийг үзнэ үү.

7. СТАТИК ТООЦООНЫ ҮНЭЛГЭЭ

Энэ арга нь хатуу материалиар хийгдсэн тоног төхөөрөмжийн хувьд хүчин төгөлдөр байна. Энэ аргын хамрах хүрээг тэлж дүн шинжилгээний аргыг орлуулан хариу үйлдлийн R коэффициентийг тооцож оруулга гэх мэт уян тоног төхөөрөмж дээр хэрэглэж болно. Үүгээр нарийвчлал багатай боловч илүү хялбар байдлаар үнэлгээ хийх боломжтой.

Статик тооцооны аргыг ашиглан оруулгын критик хөндлөн огтлолын хэсэгт үүсэх гулзайлтын моментыг тэр хэсгийн хүндийн төвийн эквивалент хурдатгалаас тооцон гаргана.

$$M_s = a_{bg} \times d_p \times m_p$$

Энэ a_{bg} хурдатгалыг тооцоолон гаргахдаа фланцын a_f хурдатгалыг S_c коэффициентээр болон хариу үйлдлийн коэффициентээр үржүүлж олно (C хавсралтыг үзнэ үү):

$$a_{bg} = a_f \times S_c \times R$$

S_c -ийн утга нь суурилуулсан оруулгын бодит давтамжаас хамаарна:

$$f \leq 9 \text{ Гц} \quad S_c = 1.5$$

$$9 < f \leq 25 \text{ Гц} \quad S_c = 1 + 0.5 \cdot (25 - f) / (25 - 9)$$

$$f \geq 25 \text{ Гц} \quad S_c = 1.0$$

Хэрэв ердийн давтамж мэдэгдэхгүй байвал $S_c = 1.5$ гэсэн бууруулсан утгыг ашиглана.

R -ын утгыг дараах аргуудын аль нэгээр тооцоолж болно. Үүнд:

a) Оруулгын фланц дахь хамрах хүрээгээр (хэрэв байгаа бол).

b) Оруулгын фланц дахь хамрах хүрээ мэдэгдэхгүй байгаа үед бүх давтамжийн түвшин газраас фланц хүртэл (K

should be assumed to be 1,5. See also 8.2.5 of IEC 68-3-3, table 4.

7. QUALIFICATION BY STATIC CALCULATION

This method is valid for rigid equipment. It may be extended to flexible equipment, such as a bushing, taking into consideration the response factor R , as an alternative to the method by analysis. This allows simpler evaluation with increased conservatism.

Using the static calculation method, the bending moment in the critical cross-section of the part of the bushing under consideration is calculated from an equivalent acceleration of the centre of gravity of that part:

$$M_s = a_{bg} \times d_p \times m_p$$

This acceleration, a_{bg} , is calculated from the flange acceleration a_f by multiplication with a coefficient and the response factor (see annex C):

$$a_{bg} = a_f \times S_c \times R$$

The value of S_c depends on the natural frequency of the mounted bushing:

$$f \leq 9 \text{ Hz} \quad S_c = 1.5$$

$$9 < f \leq 25 \text{ Hz} \quad S_c = 1 + 0.5 \cdot (25 - f) / (25 - 9)$$

$$f \geq 25 \text{ Hz} \quad S_c = 1.0$$

If the natural frequency is not known, the conservative value $S_c = 1.5$ should be used.

The value R can be established by one of the following methods.

a) From the spectrum at the bushing flange (if available).

b) When the spectrum at the bushing flange is not known, the spectrum at the ground (figure 1) may be used assuming

MNS IEC 61463:2020

коэффициентоор) тэнцүүгээр нэмэгдэж байгаа гэж тооцон газар дээрхи хүрээ (1 дүгээр зураг)-г ашиглаж болно. Энэ тохиолдолд R-ын утга хэд байхыг 2 дугаар зурагт үзүүлэв. Энэ тохиолдолд анхны бодит давтамж болон тулгуур бүтэц дээр суурилуулсан оруулгын сааруулах хүчийг мэдэж байвал зохино. Бодит давтамжийг өндрийн коэффициент ашиглан тооцоолох, эсвэл B хавсралтад заасны дагуу чөлөөт хэлбэлзлийн туршилтыг ашиглан гарган авч болно.

c) Трансформаторын оруулгын давтамж ба сааруулах хүчний мэдээлэл байхгүй үед R-ыг 1.74-тэй тэнцүү байхаар авч үзэж болно. 1.74 гэсэн утга нь 2.4 Гц-ээс 9 Гц хүртэлх давтамжийн хязгаарт болон 5 хувийн сааруулах хүчний харьцаатай байх үеийн утга юм.

d) Хийн тусгаарлагчтай бүтцэд суурилуулсан оруулгын давтамж ба сааруулах хүчний мэдээлэл байхгүй үед R-ыг 2.25-тай тэнцүү байхаар авна.

2.25 гэсэн утга нь 2.4 Гц-ээс 9 Гц хүртэлх давтамжийн хязгаарт болон 3 хувийн сааруулах хүчний харьцаатай байх үеийн утга юм.

Цуглуулсан мэдээллээс харахад суурилагдсан оруулгын эхний бодит давтамж нь оруулгын өөрийнх нь давтамжаас бага байдаг. Тайлангаас бодит давтамжууд хоорондоо ихээхэн ялгаатай, харин сааруулах хүчний харьцаа хязгаарлагдмал хүрээнд байдгийг харж болно. (2 дугаар хүснэгтийг үзнэ үү).

Трансформаторын оруулга дээр энэ аргыг хэрэглэсэн жишээг D хавсралтад үзүүлэв.

8. ДИНАМИК ШИНЖИЛГЭЭНИЙ ҮНЭЛГЭЭ

Динамик шинжилгээ хийхийн тулд

that the levels at all frequencies are equally amplified (K factor) from the ground to the flange. For such cases the values of R are summarized in figure 2. It is necessary to know the first natural frequency and the damping of the bushing mounted on its supporting structure. The natural frequency can either be calculated as indicated for the superelevation factor or found by a free oscillation test as described in annex B.

c) R may be assumed to be equal to 1,74 when information for frequency and damping of the bushing mounted on a transformer is not available. The value of 1,74 corresponds to the frequency range 2,4 Hz to 9 Hz and 5 % damping ratio.

d) R may be assumed to be equal to 2,25 when information for frequency and damping of the bushing mounted on a GIS structure is not available. The value of 2,25 corresponds to the frequency range 2,4 Hz to 9 Hz and 3 % damping ratio.

Collected data show that the first natural frequency of a mounted bushing is lower than that of the bushing itself. Reported natural frequencies show a great variation, while the damping ratios lie within a limited range, see table 2.

An example of the application of the method for bushings mounted on a transformer is given in annex D.

8. QUALIFICATION BY DYNAMIC ANALYSIS

For dynamic analysis the whole

MNS IEC 61463:2020

байгууламж, тоног төхөөрөмж, суурилагдсан оруулга бүхий /суурийг тооцоонд оруулна/ хөрсний нөхцөл байдал, масс бүх элементийн сааруулах болон уян харимхайн хүчний тодорхой утгыг тооцож үзэн хязгаарлагдмал элемент эсвэл бусад математик загварчлалын аргачлалаар загварчлах хэрэгтэй.

Байгууламж нь тусгай чичирхийллийн тоног төхөөрөмж (энэ стандартын 10.3-ын сүүлийн догол мөрийг үзнэ үү)-өөс гадна шугаман болон уян харимхай шинж чанартай гэж үзэж бодит шинж чанараар загварчилна.

Ашигласан шугаман утгууд нь чичирхийллийн ачааллын тухайн түвшинд гарах магадлалтай утгуудтай нийцэх ёстой.

Энэ тооцооноос оруулгын критик хөндлөн огтлолын хэсэгт гарах механик ачааллыг олж болно.

Хэрэв фланцын хурдатгалын утга тодорхой байгаа бол динамик шинжилгээг дан ганц оруулга дээр хийж болно.

Ерөнхий дарааллын хувьд туршилтын өгөгдлийг ашиглан байгууламжийн динамик шинж чанарыг тогтоохдоо түүний математик загварыг гаргасны дараа доорх дэд зүйлүүдэд заасан хоёр аргын аль нэгийг ашиглан хариу үйлдлийг тодорхойлно. Батлагдсан бусад өөр аргуудыг хэрэглэж болно.

8.1 Цаг хугацааны судалгааны аргыг ашигласан горимын шинжилгээ

Цаг хугацааны судалгааны аргыг чичирхийллийн шинжилгээнд ашиглах үед цаг хугацааны судалгаанд орсон газрын шилжилтийн хурдатгал нь ШХҮХ-тэй нийцсэн байна (1 дүгээр хүснэгтийг үзнэ

structure, the apparatus and the ground conditions including foundations, with the mounted bushing should be modelled by finite elements or other mathematical modelling technique, taking into consideration the specific values of elasticity and damping of all elements as well as the relevant masses.

The structure may be assumed to behave linearly and elastically except special seismic equipment (see last paragraph of 10.3), which should be modelled with its actual properties.

The linear values used should correspond to the values expected at the seismic load level.

From the calculation the stresses in the critical cross-section of the bushing can be found.

A dynamic analysis may be performed on a bushing alone if the flange severity is already known.

The general procedure is to establish, using experimental data, a mathematical model of the structure in order to assess its dynamic characteristics and then to determine the response, using either of the methods described in the following subclauses. Other methods may be used if they can be justified.

8.1 Modal analysis using the time-history method

When the time-history method is used for seismic analysis, the ground motion acceleration time-histories should comply with the RRS (see table 1). Two types of superimposition may generally

MNS IEC 61463:2020

үү). Асуудлын төвөгшилөөс хамаарч хоёр төрлийн хослолыг ашиглаж болно. Үүнд:

- Газар хөдлөлийн гурван чиглэлд (хэвтээ чиглэлд x ба y , босоо чиглэлд z) гарах хамгийн их хариу үйлдлийг тус бүрд нь тооцоолон гаргана. Эдгээр хамгийн их утгыг квадратуудын нийлбэрээс квадрат язгуур гарган авч нэгтгэнэ. Өөрөөр хэлбэл $(x^2 + z^2)^{1/2}$ болон $(y^2 + z^2)^{1/2}$ гэж бодно. Эдгээр хоёр утгын ихийг оруулга доторх нийлбэр ачааллыг тооцоолоход ашиглана.

- хэвтээ чиглэлийн аль нэгийг босоо чиглэлтэй (z -тэй x) бодоод, дараа нь өөр нэг хэвтээ чиглэлийг босоо чиглэлтэй (z -тэй y) нэгэн зэрэг бодож гаргана. Өөрөөр хэлбэл бодолтын үе шат бүрийн дараа бүх утгууд (хүч, механик ачаалал) алгебрын аргаар нэмэгдсэн байна гэсэн үг. Энэ хоёр утгын аль ихийг нь оруулга дотор бий болох механик ачааллын нийлбэрийг гаргахад ашиглана.

8.2 ШХҮХ ашигласан горимын шинжилгээ

ШХҮХ-ний аргыг газар хөдлөлтийн чичирхийллийн шинжилгээнд ашиглах үед механик ачааллыг нэгтгэх аргачлал нь оруулгын үндсэн тэнхлэгүүдийн нэг ортогональ системийн хувьд хэвтээ чиглэлийн x ба y , босоо чиглэлийн z -ээр илэрхийлэгдэнэ. X , y , z гурван чиглэл бүрд оруулгын ачааллын хамгийн их утгыг олохдоо квадратуудын нийлбэрээс квадрат язгуур авах байдлаар чиглэл тус бүрийн өөр өөр горимын давтамж бүрт тооцон гаргасан хүчдэлүүдийг нийлбэрээр гарна. X ба z , y ба z чиглэлийн хамгийн их утгыг олохдоо квадратуудын нийлбэрээс квадрат язгуур авч олно. Энэ хоёр тохиолдлын (x , z) эсвэл (y , z) - их утгыг нь

be applied depending on the complexity of the problem:

- separate calculation of the maximum responses due to each of the three directions (x and y in the horizontal, and z in the vertical direction) of the earthquake. These maximum values are then combined by taking the square root of the sum of the squares, i.e. $(x^2 + z^2)^{1/2}$ and $(y^2 + z^2)^{1/2}$. The greater of these two values is used for the combination of the stresses of the bushing;

- simultaneous calculation of one of the horizontal directions and the vertical direction (x with z) and, thereafter, calculation of the other horizontal direction and the vertical direction (y with z). This means that, after each step of calculation, all values (force, stresses) are superimposed algebraically. The greater of these two values is used for the combination of the stresses of the bushing.

8.2 Modal analysis using the RRS

When the RRS method is used for seismic analysis, the procedure of combining the stresses is described for an orthogonal system of co-ordinates in the main axes of the bushing and with x and y in the horizontal and z in the vertical direction. The maximum values of stresses in the bushing for each of the three directions x , y and z are obtained by superimposing the stresses calculated for the various modal frequencies in each of these directions by taking the square root of the sum of the squares. The maximum values in the x and z direction - and in the y and z direction - are obtained by taking the

MNS IEC 61463:2020

оруулга дотор бий болох механик ачааллын нийлбэрийг гаргахад ашиглана.

9. ЧИЧИРХИЙЛЛИЙН ТУРШИЛТЫН ҮНЭЛГЭЭ

9.1 Ерөнхий зүйл

Дараах гурван аргыг хэрэглэж болно:

- иж бүрэн тоног төхөөрөмж (тоног төхөөрөмж дээр бодитоор суурилуулсан оруулга) дээрх туршилт;
- дуураймал тулгуурт суурилуулсан оруулга дээрх туршилт;
- дан оруулга дээрх туршилт.

Туршилтын үнэлгээний аргачлал нь IEC 68-3-3 стандартын 11-ээс 15 хүртэлх зүйл заалт, IEC 68-2-57, IEC 68-2-59 стандарттай тус тус нийцэх ёстой. Туршилтыг тухайн байршлын орчны хэмд хийж, туршилтын тайланд тэмдэглэнэ. Оруулга нь чичирхийллийн туршилтын дараа IEC 137 стандартын 8 дугаар зүйлд заасан ердийн туршилтад тэнцэх ёстой.

9.1.1 Суурилуулалт

Суурилуулахад тавигдах ерөнхий шаардлагыг IEC 68-2-47 стандартад заасан. Сорьцыг сааруулагч (хэрэв байгаа бол)-ийн хамт суурилуулна.

ТАЙЛБАР: Хэвийн үед тоног төхөөрөмж чичиргээ тусгаарлагчтай ашиглагдаж байгаа бол илүү дэлгэрэнгүй зааврыг IEC 68-2-6 стандартын A.5 зүйлийг үзнэ үү.

Туршилтын нөхцөлд сорьцыг суурилуулахдаа холбогдох стандартыг мөрдөнө. Туршигдаагүй нөхцөлд туршилт хийх (жишээлбэл: хэрэв хүндийн хүчний

square root of the sum of the squares. The greater value of these two cases (x, z) or (y, z) is used for the combination of the stresses of the bushing.

9. QUALIFICATION BY VIBRATION TEST

9.1 General

Three different approaches can be applied:

- test on the complete apparatus (bushing mounted on the real apparatus);
- test on the bushing mounted on a simulating support ;
- test on the bushing alone.

The procedure for qualification by test should be in accordance with clauses 11 to 15 of IEC 68-3-3, IEC 68-2-57 and IEC 68-2-59. The tests should be made at the ambient air temperature of the test location and this temperature should be recorded in the test report. After the vibration test, the bushing should pass a routine test according to clause 8 of IEC 137.

9.1.1 Mounting

General mounting requirements are given in IEC 68-2-47. The specimen should be mounted as in service including dampers (if any).

NOTE: For more detailed guidance in the case of equipment normally used with vibration isolators, see clause A.5 of IEC 68-2-6.

The orientation and mounting of the specimen during conditioning should be prescribed by the relevant standard. They are the only condition for which the

MNS IEC 61463:2020

нөлөө сорьцын шинж чанарт нөлөөлөхгүй гэдгийг нотолсон бол) бол заагдсан нөхцөлийг бүрдүүлсэн тохиолдолд сорьцыг стандартын шаардлагад нийцсэнд тооцно.

9.1.2 Гадна ачаалал

Газар хөдлөлтийн туршилтанд ажиллагааны үеийн цахилгааны болон байгаль орчны ачааллыг зохиомлоор бий болгох боломжгүй байдаг. Энэ нь туршилтын лабораторийн аюулгүй байдлын шаардлагын дагуу оруулгын боломжит дотоод даралтанд хамаарна.

ТАЙЛБАР: Газар хөдлөлтийн болон ажиллагааны үеийн ачааллыг нэгтгэх талаар энэ стандартын 10 дугаар зүйлээс үзнэ үү.

9.1.3 Хэмжил

Хэмжлийг IEC 68-3-3 стандартын 5.2-д заасны дагуу гүйцэтгэх бөгөөд үүнд дараах зүйлс багтсан байна:

- оруулгын хүндийн төвийн чичирхийлэх хөдөлгөөн,
- критик хөндлөн оглолын хэсэгт гарсан муруйлт.

9.1.4 Давтамжийн хязгаар

Давтамжийн хүрээ 1 Гц-ээс 35 Гц байна.

9.1.5 Туршилтын арга

Туршилтанд дараах аргуудыг хэрэглэнэ. Үүнд:

- цаг хугацааны түүхийн судалгаа эсвэл
- синусиод-хэмнэл, эсвэл
- бусад долгионы хэлбэр, жишээлбэл синус долгион (үндэслэл байх шаардлагатай).

specimen is considered as complying with the requirements of the standard, unless adequate justification can be given for extension to an untested condition (for instance, if it is proved that the effects of gravity do not influence the behaviour of the specimen).

9.1.2 External load

Generally, electrical and environmental service loads cannot be simulated during the seismic test. This applies also to possible internal pressure of the bushing due to safety requirements of the test laboratory.

NOTE - For combination of seismic and service loads, see clause 10.

9.1.3 Measurements

Measurements should be performed in accordance with 5.2 of IEC 68-3-3, and should include:

- vibration motion of the centre of gravity of the bushing;
- strains on critical cross-sections.

9.1.4 Frequency range

The frequency range should be 1 Hz to 35 Hz.

9.1.5 Test methods

The test methods should be:

- time-history, or
- sine-beat, or
- other waveforms, e.g. sine wave (requiring justification).

9.1.5.1 Цаг хугацааны түүхийн параметрууд

Цаг хугацааны бичлэгийн нийт үргэлжлэх хугацаа нь ойролцоогоор 30 сек, үүнээс далайц ихтэй хэсэг нь 15 сек-ээс доошгүй байна. Туршилтын арга нь IEC 68-2-57 стандартад нийцсэн байх ёстой.

9.1.5.2 Синусоид-хэмнэлийн параметрууд

Туршилтын давтамж нь хагас үе зайтайгаар энэ стандартын 9.1.4-д заасан давтамжийн хязгаарт байх ба сорьцын резонансын давтамжид багтана. Туршилтын арга IEC 68-2-59 стандартад нийцсэн байна.

9.1.6 Туршилт

9.1.6.1 Туршилтын тэнхлэг

Туршилтын тэнхлэгийг IEC 68-3-3 стандартын 3.19-д заасны дагуу сонгоно. Зарим тохиолдолд босоо чиглэлийн хурдатгалын улмаас үүсэх ачаалал маш бага байх тохиолдолд босоо чиглэлд өдөөлтийг тооцохгүй байж болно.

9.1.6.2 Туршилтын дараалал

Туршилтыг дараах дарааллаар явуулна. Үүнд:

a) Чичирхийллийн хариу үйлдлийн шинжилгээ

Чичирхийллийн хариу үйлдлийн шинжилгээг энэ стандартын 9.1.4-д заасан давтамжийн хүрээнд IEC 68-3-3 стандартын 10.1, 14.2-д заасны дагуу гүйцэтгэнэ.

b) Газар хөдлөлтийг тэсвэрлэх чадварыг үнэлэх туршилт

Туршилтыг туршилтын байгууламжаас хамаарч IEC 68-3-3 стандартын A.3 бүдүүвч (F_c туршилтаас бусад), эсвэл A.4 бүдүүвчид заасан журмын аль нэгийг

9.1.5.1 Parameters for time-history

The total duration of the time-history should be about 30 s of which the strong part should be not less than 15 s. The test method should be in accordance with IEC 68-2-57.

9.1.5.2 Parameters for sine-beat

Test frequencies should cover the frequency range stated in 9.1.4 with half octave spacing, and should include the resonance frequencies of the specimen. The test method should be in accordance with IEC 68-2-59.

9.1.6 Testing

9.1.6.1 Test axes

The test axes should be chosen according to 3.19 of IEC 68-3-3. In some cases the effect of the vertical acceleration results in negligible stresses and the vertical excitation may be omitted.

9.1.6.2 Test sequence

The test sequence should be as follows.

a) Vibration response investigation

The vibration response investigation should be carried out according to 10.1 and 14.2 of IEC 68-3-3 over the frequency range stated in 9.1.4.

b) Seismic qualification test

The test should be performed by applying one of the procedures stated in flow chart A.3 (except test F_c) or flow chart A.4 of IEC 68-3-3 depending on

MNS IEC 61463:2020

баримтлан гүйцэтгэнэ.

Туршилтыг энэ стандартын 6 дугаар зүйлд сонгосон түвшинд нэг удаа хийнэ.

Чичирхийллийн туршилтын явцад энэ стандартын 9.1.3-т заасан хэмжлийг хийж бүртгэлжүүлнэ.

9.2 Иж бүрэн тоног төхөөрөмж дээрх туршилт

Тоног төхөөрөмжийн овор хэмжээ, бүтцийн нарийн төвөгтэй байдлаас шалтгаалж сэгсрэгчийг ширээн дээр угсраагүй тохиолдолд иж бүрэн тоног төхөөрөмж дээр туршилтыг явуулах нь зүйтэй.

Туршилтын хурдатгалын утгыг энэ стандартын 6.1-д нийцүүлэн сонгоно. Цаг хугацааны судалгааны арга нь бодит нөхцөл байдлыг илүү ойртуулдаг (ялангуяа туршигдаж байгаа сорьц шугаман биш шинж чанартай үед) тул энэ аргыг хэрэглэх нь зохистой.

9.3 Загварт тулгуурт суурилуулсан оруулгын туршилт

Оруулгыг сэгсрэгч ширээнд бэхэлсэн дуураймал тулгуур дээр суурилуулна (3 дугаар зургийг үзнэ үү). Дуураймал тулгуурын динамик шинж чанар (хатуулаг чанар болон сааруулах хүч) нь бодит тоног төхөөрөмжийн динамик шинж чанартай ижил байх ёстой.

Хурдатгалын утга болон турших аргыг энэ стандартын 9.2-д тодорхойлов.

9.4 Дан оруулга дээрх туршилт

Хэрэв тоног төхөөрөмж (трансформатор, хийн хөндийрүүлэгтэй дэд станц, барилга)-ийн хэмжээ болон/эсвэл бүтцийн нарийн төвөгтэй байдлаас улбаалж/шалтгаалан энэ стандартын 9.2 эсвэл 9.3-д заасан туршилтыг гүйцэтгэх боломжгүй бол туршилтыг сэгсрэгч ширээнд хөдөлгөөнгүй

the test facilities.

The test should be performed once at the level chosen in clause 6.

During the seismic test the measurements as stated in 9.1.3 should be recorded.

9.2 Test on complete apparatus

When the size and/or complexity of the apparatus allow assembly on the shaker table, a test on the complete apparatus is recommended.

The test severity should be chosen in accordance with 6.1. The time-history method is recommended since it more closely simulates the actual conditions, particularly if the behaviour of the specimen under test is not linear.

9.3 Test on the bushing mounted on a simulating support

The bushing is mounted on a simulating support which is fastened to a shaker table (see figure 3). The simulating support has to dynamically reproduce (stiffness and damping) the actual apparatus.

The severity and test method should be as described in clause 9.2.

9.4 Test on the bushing alone

If the size and/or complexity of the apparatus (transformer, GIS, building) does not allow the test to be performed as described in 9.2 or 9.3, the test should be performed on the bushing alone, rigidly connected to the shaker table. In this case the severity should be

MNS IEC 61463:2020

бэхэлсэн дан оруулга дээр гүйцэтгэнэ. Энэ тохиолдолд хурдатгалын утга нь ШХҮХ-тэй тэнцүү байх, эсвэл оруулгын фланцад үүсэх хурдатгалын хамгийн их утгатай тэнцүү байна (Энэ стандартын 6.2 болон 4 дүгээр зургийг үзнэ үү).

Энэ тохиолдолд синусоид-хэмнэлийн туршилтын аргыг хэрэглэвэл зохино. Хэрэв фланц дахь ШХҮХ нь тодохойгүй бол K болон R коэффициентийг энэ стандартын 6 болон 7 дугаар зүйлд заасан утгаас авах, эсвэл тооцоолж олно.

10. ГАЗАР ХӨДЛӨЛТИЙГ ТЭСВЭРЛЭХ ЧАДВАРЫН ҮНЭЛГЭЭГ ДҮГНЭХ

10.1 Нийлбэр механик ачаалал

Энэ стандартын 7, 8, 9 дүгээр зүйлд заасан газар хөдлөлтийн механик ачааллыг ажиллагааны үед үүсэх бусад ачааллуудтай нэгтгэн оруулгын нийт ачааллыг үнэлэх ёстой.

Газар хөдлөлтийн үеэр гарч болох хамгийн их чичирхийллийн ачаалал нь зөвхөн, хамгийн дээд хурдатгалтай аюултай давтамжид үүсдэг тул оруулгын ашиглагдах хугацааны явцад ийм нөхцөл байдал гарах, чичиргээг үнэлсэн түвшинд хүрэн магадлал тун бага юм. Газар хөдлөлт хэдхэн секунд үргэлжлэх тул ажиллагааны үеийн цахилгааны болон орчны нийлбэр ачаалал бодит байдалд нийцдэггүй.

Хэрэв өөрөөр заагаагүй бол (IEC 1264 стандартыг үзнэ үү) дараах ачааллуудыг нэгэн цаг үед бий болно гэж үзнэ.

- Ашиглалтын үеийн ачааллаас үүсэх хүч нь тухайн оруулгын хувьд кронштейны ачааллын 70%-тай тэнцүү байна.

the RRS or the peak acceleration value at the flange of the bushing (see 6.2 and figure 4).

The sine-beat test method is recommended. In case the RRS at the flange is not available, coefficients K and R should be either obtained by calculation or taken from the values given in clauses 6 and 7.

10. EVALUATION OF THE SEISMIC QUALIFICATION

10.1 Combination of stresses

The seismic stresses determined as described in clauses 7, 8 or 9 should be combined with other service stresses to evaluate the total stress induced by all the combined loads on the bushing.

The probability of an earthquake of the recommended seismic qualification level occurring during the lifetime of the bushing is low, as the maximum seismic load in a natural earthquake would only occur if the bushing were excited at its critical frequencies with maximum acceleration. As this would last only a few seconds, a combination of extreme electrical and environmental service loads would lead to unrealistic conservatism.

Consequently the following stresses are considered to occur simultaneously, if not otherwise specified (see IEC 1264):

- the stress of an operating load equal to 70 % of the cantilever operating load specified for the bushing;
- the stress of wind pressure of 70 Pa;

MNS IEC 61463:2020

- 70 Па-ын салхины даралтаар үүсэх механик ачаалал;
- Оруулгын тэнхлэгт перпендикуляр чиглэлээр үйлчлэх жингийн хүчээр үүсэх механик ачаалал;
- Ажиллагааны хэвийн нөхцөлийн үеэр үүсэх дотоод дундаж даралтын хүч;
- Газар хөдлөлтөөр үүсэх механик ачаалал (энэ стандартын 7, 8, эсвэл 9 зүйл).

Эдгээр механик ачааллуудыг туршилтын тооцоо, шинжилгээний загварт оруулах буюу эсвэл тусад нэмж тооцож болно.

ТАЙЛБАР:

1. Газар хөдлөлтийн үеийн механик ачааллуудын нийлбэрийг гаргахдаа холболтын шугамууд нь оруулгын холбоосны хөдөлгөөнийг хязгаарлаагүй гэж тооцно.
2. Энэ ачааллын нийлбэрийг үндэслэлтэй тооцсон тул байгууламж бүрд хамаарахгүй байж болно.

10.2 Кронштейны туршилт

Оруулгад үүсэхийг боломжит хамгийн их механик ачааллыг кронштейны туршилтаар тодорхойлох боломжтой. Кронштейны туршилтыг иж бүрэн оруулга дээр эсвэл түүний хэсгүүд дээр гүйцэтгэж болно. Тусгаарлагчийг тусад нь турших үед бэхэлгээний байрлалыг иж бүрэн оруулга дээрх байрлалтай ижил байлгана. Туршилтын журам нь IEC 137 стандарттай нийцвэл зохино.

10.3 Шалгуур үзүүлэлт

Оруулга нь газар хөдлөлтийн үед болон дараа гүйдэл дамжуулж тусгаарлаж байх ёстой. Ан цав үүссэн, тос алдагдсан, байнгын гажилт үүссэн эсвэл эд ангиудын хоорондох зай харьцангуй өөрчлөгдсөн байж болохгүй.

- the stress determined by the components of the mass of the bushing which acts perpendicular to the bushing axis;
- the stress of the average internal pressure at normal service conditions;
- the stress induced by the seismic event (clauses 7, 8 or 9).

These stresses can either be included in the test or analysis model, or separately added.

NOTES:

1. This combination of stresses assumes that connection lines do not limit the motion of the terminal of the bushing during the seismic event.
2. This load combination is based on a reasonable conservatism that may not apply to each installation.

10.2 Cantilever test

A cantilever test allows the highest permissible stress of the bushing to be determined.

A cantilever test can be performed on a complete bushing or on parts of it. When testing a separate insulator, the clamping arrangement should be equal to that of the complete bushing. The test procedure should be in agreement with IEC 137.

10.3 Acceptance criteria

The bushing should insulate and carry current during and after the earthquake. No crack, leakage, permanent deflection or relative movement of parts is permitted.

The bushing is considered to be

MNS IEC 61463:2020

Оруулгыг дараах тохиолдолд газар хөдлөлтийг тэсвэрлэх чадварын шаардлагыг хангасанд тооцно. Үүнд:

- Нийлбэр механик ачааллаас хамаарч тусгаарлагчид үүсэх гулзайлгах ачаалал IEC 1264 стандартын 1 дүгээр зураг болон 1 дүгээр хүснэгтийн 100%-ийн түвшингээс ихгүй байвал.

- Нийлбэр механик ачааллын нөлөөнөөс металл хэсгүүдэд хугарлын цэгээс давсан ачаалал үүсээгүй байвал. Харин, газар хөдлөлтөд зориулж тусгайлан бүтээгдсэн угсралтын холбох эд ангиудын (жишээ нь: ердийн давтамжийг багасгах эсвэл сааруулах хүчийг нэмэгдүүлэх зорилготой эд ангиуд) үрэлтийн хүч болон уян хатан байдлыг хяналтын доор ашиглаж болно.

ТАЙЛБАР - Гулзайлгах үйлчилгээтэй бодит механик ачаалал мөн ачааллын дахин хуваарилалтын харилцан хамаарлыг авч үзэхэд онцгой нөхцөлд металл эд ангийн тодорхой хэсэгт үүссэн ачаалал нь түүний хязгаараас давж болно: хэрэв тухайн ачаалал нь өөрийгөө хязгаарлах хоёрдогч шинж чанартай; эсвэл бүтцийн өөрчлөлтөөс шалтгаалсан ачаалал нь материалын харьцангуй бага эзлэхүүнтэй хэсэгт нөлөөлж байгаа болон мушгилтын ерөнхий хэв маяг, нийт ачаалалд чухал нөлөө үзүүлэхээргүй бол.

11. МЭДЭЭЛЭЛ СОЛИЛЦОХ ШААРДЛАГА

11.1 Тоног төхөөрөмж үйлдвэрлэгчээс өгөх мэдээлэл

Худалдан авагчид тодорхой шинж чанартай бүтээгдэхүүн хэрэгтэй байгаа тохиолдолд доорхи чухал мэдээлэлүүд, түүнчлэн үзүүлэлтийг тодорхойлох нэмэлт мэдээллүүдийг өгөх хэрэгтэй.

a) Хурдатгал

Хурдатгалын нөлөөллийг оруулгын фланц

qualified for the seismic requirement if:

- the bending stress of the insulator resulting from the combination of stresses is not higher than the 100 % level of figure 1 and table 1 of IEC 1264;

- metallic parts are not stressed above the yielding point by the combined stresses. Assembly fittings, specially designed for seismic purpose (e.g. to reduce the natural frequency or increase the damping) may however use friction and ductility in a controlled way.

NOTE - By considering the actual stress-strain relationship and stress redistribution, the stress limit in metallic parts need not be satisfied at a specific location if the stress is a self-limiting secondary stress or if it is caused by a local structural discontinuity which affects a relatively small volume of material and does not have a significant effect on the overall stress or strain pattern.

11. NECESSARY EXCHANGE OF INFORMATION

11.1 Information supplied by the apparatus manufacturer

When specifying, the purchaser should provide as much of the following information as necessary, as well as any additional information needed to determine clearly the required characteristics.

a) Severity

It should be clearly stated if the severity is to be applied to the bushing flange or

MNS IEC 61463:2020

дээр үү, эсвэл тоног төхөөрөмжийн суурийн түвшинд үнэлэх үү гэдгийг тодорхой заасан байна. Хурдатгалыг оруулгын фланц дээр үнэлэхийг зөвлөсөн байдаг.

b) Угсралтын дэлгэрэнгүй мэдээлэл

Суурилуулах өнцөг, байрлал.

c) Тоног төхөөрөмжийн хатуулаг

Тооцоогоор үнэлэх үед оруулгын тулгуурын хатуулаг (жишээ нь: гулзайх моменттой харьцуулсан хазайлтын өнцөг) болон бүтцийн сааруулах хүчийг зааж өгнө. Хэрэв тулгуурын хатуулаг өндөр байгаагаас оруулгын ердийн давтамж 9 Гц-ээс их байх төлөвтэй байвал түүнээс доош суурь хүртэлх бүтэц нь ижил хатуулагтай байна гэж зааж өгөх ёстой. Эсрэг тохиолдолд өндөр давтамжийн үеийн бага хурдатгалууд устгахгүй.

d) Динамик шинжилгээ

Динамик шинжилгээний аргаар тоног төхөөрөмжийг үнэлэхэд бүтцийн талаар нилээд их мэдээлэл шаардагддаг тул динамик шинжилгээг тоног төхөөрөмж (тухайлбал, трансформатор)-ийн үйлдвэрлэгч гүйцэтгэнэ. Тоног төхөөрөмжийн үйлдвэрлэгч нь оруулгын үйлдвэрлэгчид хүсэлт тавьж шаардлагатай мэдээллээ авна.

11.2 Оруулга үйлдвэрлэгчээс өгөх мэдээлэл

a) Загварын өгөгдөл

Иж бүрэн тоног төхөөрөмжид динамик шинжилгээ хийх тохиолдолд оруулга үйлдвэрлэгч дараах мэдээллийг өгнө. Үүнд:

- иж бүрэн оруулгын геометрийн үзүүлэлт (тухайлбал: хэмжээс, хүндийн төв, инерцийн момент) болон масс;

to the apparatus base.

Severity at the bushing flange is recommended.

b) Details of mounting

Position and angle of mounting.

c) Apparatus stiffness

For qualification by calculation, the stiffness of the bushing support (e.g. angle of deflection vs bending moment) and the damping of the structure should be stated. If the stiffness of the support is so high that the natural frequency of the bushing can be expected to be above 9 Hz, it should also be stated that the rest of the structure down to the base is equally stiff, otherwise the lower accelerations at high frequencies may not be utilized.

d) Dynamic analysis

Qualification by dynamic analysis is to be made by the manufacturer of the apparatus (e.g. a transformer) because of the great amount of structural data required. The apparatus manufacturer requests the necessary data from the bushing manufacturer.

11.2 Information supplied by the bushing manufacturer

a) Design data

In case of dynamic analysis of the complete apparatus, the bushing manufacturer should provide:

- the geometrical parameters (i.e. dimensions, centre of gravity, moment of inertia) and masses of the complete bushing;

- the mechanical properties (i.e. Young's

MNS IEC 61463:2020

- Шаазангийн механик шинж чанар (тухайлбал: юнг болон шилжилтийн модуль, гулзайлт/шахалт/суналтын бат бэх) болон оруулгын сааруулах хүчний харьцаа (стандарт утгыг ашиглахаас бусад тохиолдолд).

Тоног төхөөрөмж үйлдвэрлэгч динамик шинжилгээг хийж, үр дүнг оруулга үйлдвэрлэгчид мэдээлэх бөгөөд энэ стандартын 10 дугаар зүйлд заасны дагуу дүгнэлт хийхэд энэхүү өгөгдлийг ашиглана.

b) Газар хөдлөлтийг тэсвэрлэх чадварын үнэлгээний тайлан

Энэ стандартын 10 дугаар зүйлд заасны дагуу гүйцэтгэсэн үнэлгээний үр дүнг үзүүлсэн тайланд оруулгын дүрслэл, хэрэглэсэн таамаглал болон гаргаж авсан үр дүнг тусгана. Газар хөдлөлтийн үед оруулгын терминал /холболт/ шилжиж болох хамгийн их утгыг тайланд заасан байх ёстой.

c) Туршилтын бүртгэл

Хэрэв туршилт хийж байгаа бол туршигдсан зүйлийг таньж ялгах тодорхойлолт, туршилт хийсэн байршил, туршилтын тоног төхөөрөмж, туршилтын дүрслэл, үр дүн (резонансын давтамж болон сааруулах хүч) болон ач холбогдолтой дүгнэлтийг тайланд тусгавал зохино.

Үнэлгээг энэ стандартын 9.4-ийн дагуу гүйцэтгэж байгаа бол сонгосон газрын хурдатгалын зэрэглэлийн хувьд оруулга шаардлага хангасан нь ашиглагдах тоног төхөөрөмжийн динамик параметртэй уялдан холбогдож байгаа гэдгийг нотлох мэдээллийг өгөх ёстой.

Авч үзэж буй тоног төхөөрөмжтэй ижил төстэй тоног төхөөрөмж дээр хийсэн туршилтыг иш татвал дараах мэдээллийг

and shear modulus, flexural/compressive/tensile strength) of the porcelain and the damping ratio of the bushing, unless standard values can be used.

The apparatus manufacturer will perform the dynamic analysis and inform the bushing manufacturer of the results to be used in the evaluation according to clause 10.

b) Seismic qualification report

A report showing the result of the evaluation performed according to clause 10. The report should contain a description of the bushing, the assumptions adopted and the results obtained. In the report the maximum displacement of the bushing terminal during the earthquake should be provided.

c) Test record

If tests are performed, the report should contain identification of test object, test location, test equipment, description of the test, results (resonance frequencies and damping) and significant conclusions.

When qualification is performed according to 9.4, information should be given in order to justify that the adequacy of the bushing for a certain ground acceleration level is related to particular apparatus dynamic parameter.

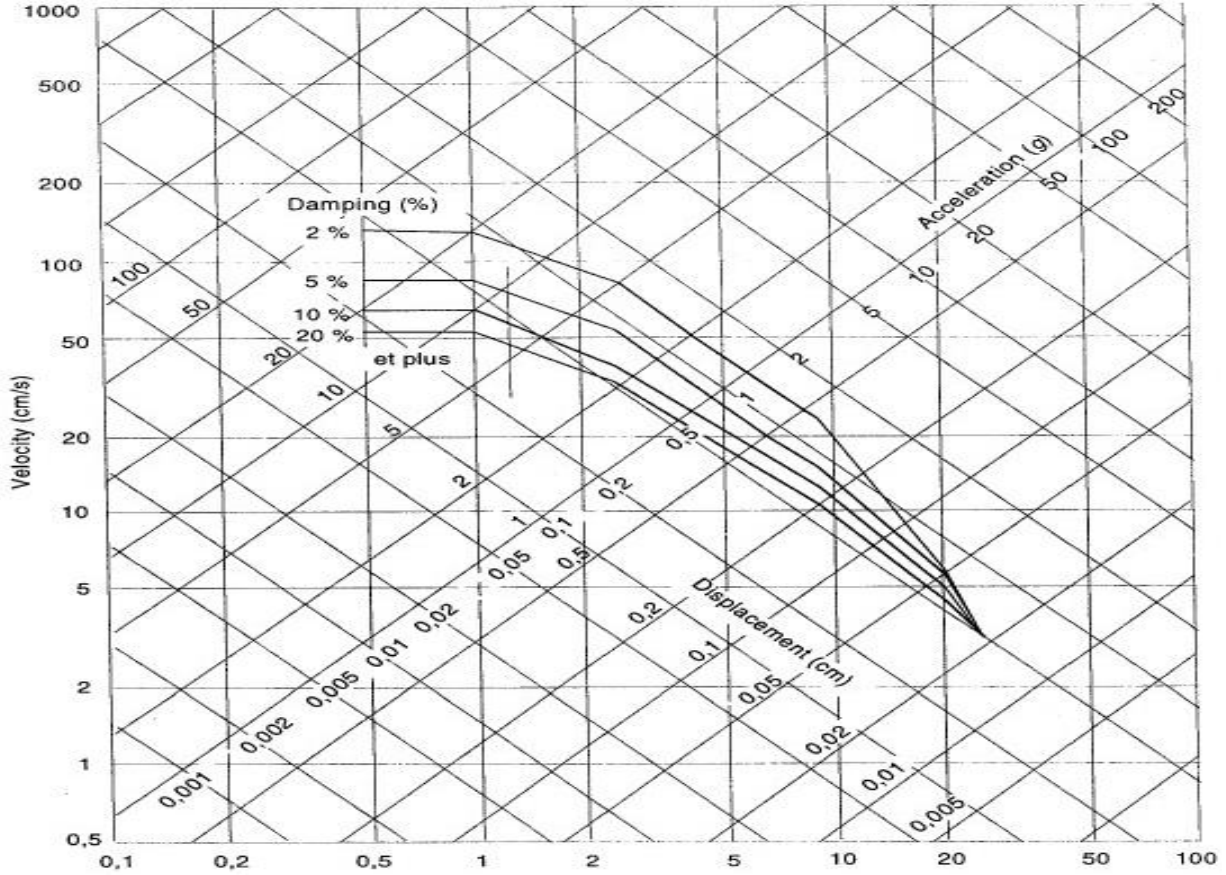
When reference is made to tests on apparatus similar to the actual, the following information should be given: description of both with details of their

MNS IEC 61463:2020

өгөх ёстой. Үүнд: хоёр тоног төхөөрөмж тус бүрийн дүрслэл тодорхойлолт, тэдгээрийн ялгаа, туршилтын үр дүн, авч үзэж буй тоног төхөөрөмж дээр тэдгээр үр дүнг хэрхэн шилжүүлж хэрэглэх талаарх

differences, test results and their extrapolation to the actual apparatus.

МЭ



Давтамж(Гц)

IEC 480/96

Давтамж Гц	Хариу үйлдлийн хурдатгал (m/s ²)			
	Сааруулах хүчний харьцаа 2%	Сааруулах хүчний харьцаа 5%	Сааруулах хүчний харьцаа 10%	Сааруулах хүчний харьцаа 20% ба түүнээс дээш
0.5	4.3	2.9	2.1	1.8
1.0	8.5	5.2	4.3	3.2
2.4	14.0	8.7	6.4	5.2
9.0	14.0	8.7	7.3	6.1
20.0	7.5	7.0	6.4	5.2
25.0	5.0	5.0	5.0	5.0

Тайлбар: IEC 68-3-3 стандартын дагуу g-ын утгыг хамгийн ойр нэгж хүртэл буюу 10 m/s² болгож бүхэлтгэнэ.

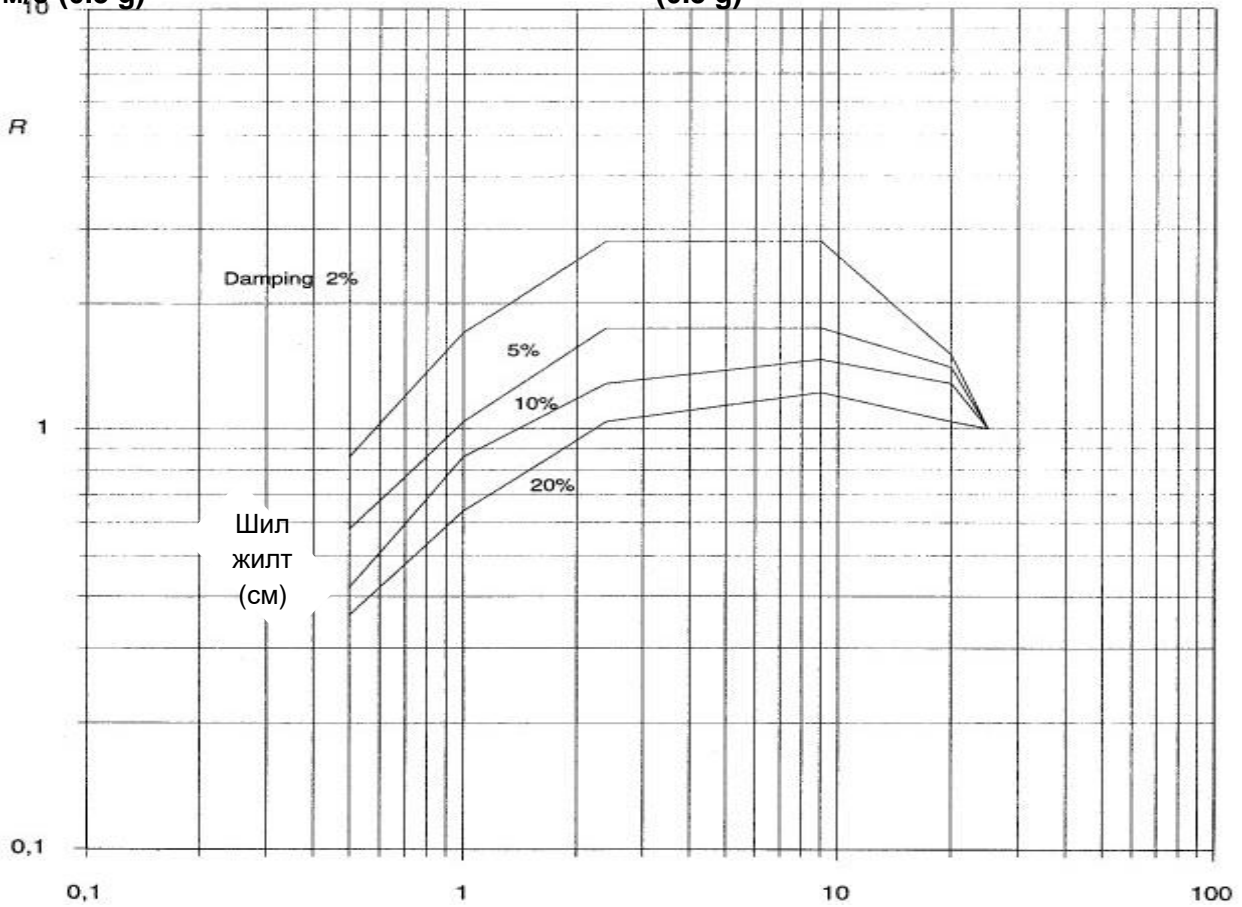
Frequency Hz	Response acceleration m/s ²
--------------	----------------------------------------

	Damping ratio 2%	Damping ratio 5%	Damping ratio 10%	Damping ratio 20% and more
0.5	4.3	2.9	2.1	1.8
1.0	8.5	5.2	4.3	3.2
2.4	14.0	8.7	6.4	5.2
9.0	14.0	8.7	7.3	6.1
20.0	7.5	7.0	6.4	5.2
25.0	5.0	5.0	5.0	5.0

NOTE - According to IEC 68-3-3, the value of g is rounded up to the nearest unit, that is 10 m/s²

1 дүгээр зураг. Газарт суурилуулсан тоног төхөөрөмжийн ШХҮС
- Үнэлгээний зэрэглэл: AG5: ТҮХ = 5 м/с²(0.5 g)

Figure 1 - RRS for ground mounted equipment
- Qualification level: AG5: ZPA=5 m/s² (0.5 g)



Давтамж (Гц) IEC 481/96

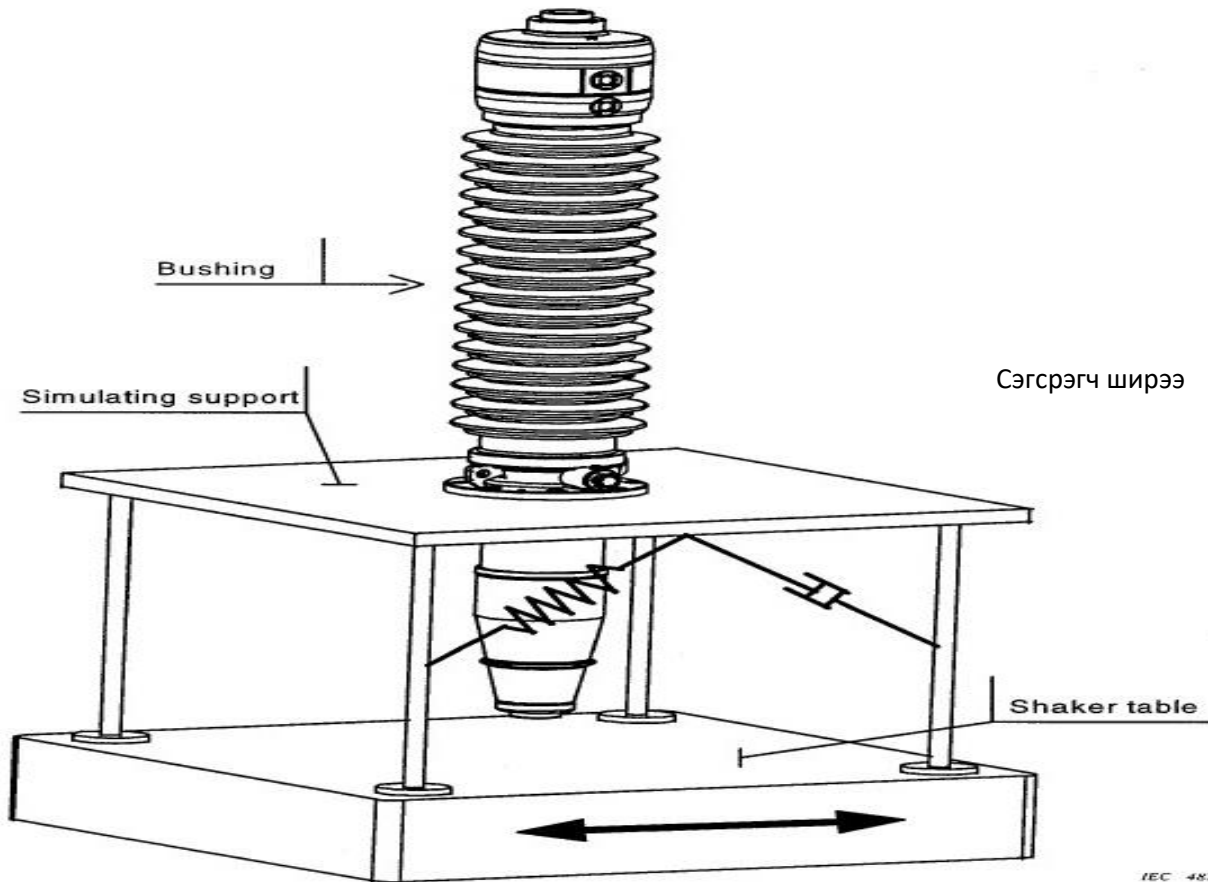
Давтамж Гц	Хариу үйлдлийн R коэффициент			
	Сааруулах хүчний харьцаа 2%	Сааруулах хүчний харьцаа 5%	Сааруулах хүчний харьцаа 10%	Сааруулах хүчний харьцаа 20% ба түүнээс дээш
0.5	0.86	0.58	0.42	0.36
1.0	1.70	1.04	0.86	0.64

2.4	2.80	1.74	1.28	1.04
9.0	2.80	1.74	1.46	1.22
20.0	1.50	1.40	1.28	1.04
25.0	1.00	1.00	1.00	1.00

2 дугаар зураг. Хариу үйлдлийн R коэффициент

Frequency Hz	Response factor R			
	Damping ratio 2%	Damping ratio 5%	Damping ratio 10%	Damping ratio 20% and more
0.5	0.86	0.58	0.42	0.36
1.0	1.70	1.04	0.86	0.64
2.4	2.80	1.74	1.28	1.04
9.0	2.80	1.74	1.46	1.22
20.0	1.50	1.40	1.28	1.04
25.0	1.00	1.00	1.00	1.00

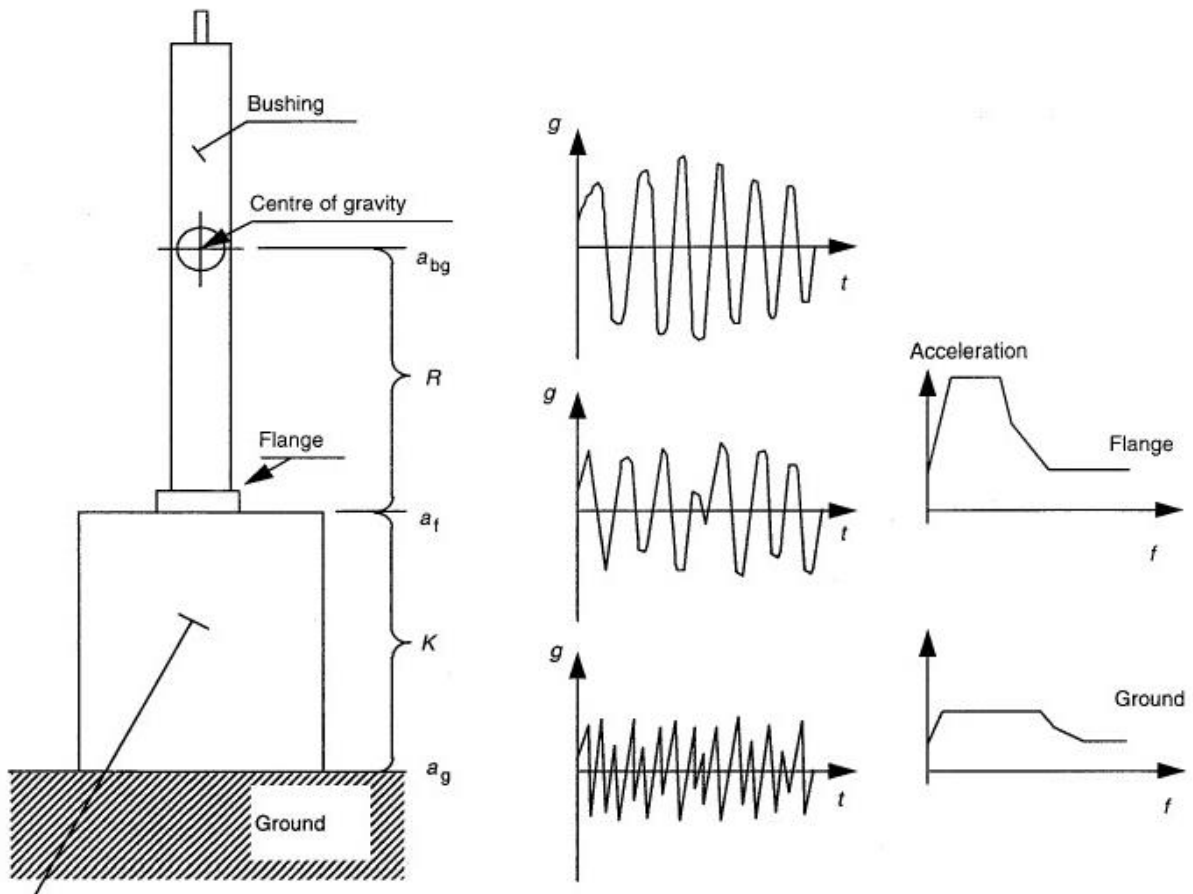
Figure 2 - Response factor



IEC 4825

3 дугаар зураг. Энэ стандартын 9.3-т нийцсэн дуураймал тулгууртай туршилт

Figure 3- Test with simulating support according to 9.3



Трансформатор, ХХДС, барилга
Transformer, GIS, building

Цаг хугацааны түүх
Time history

Хариу үйлдлийн хүрээ
Response spectrum

IEC 483/96

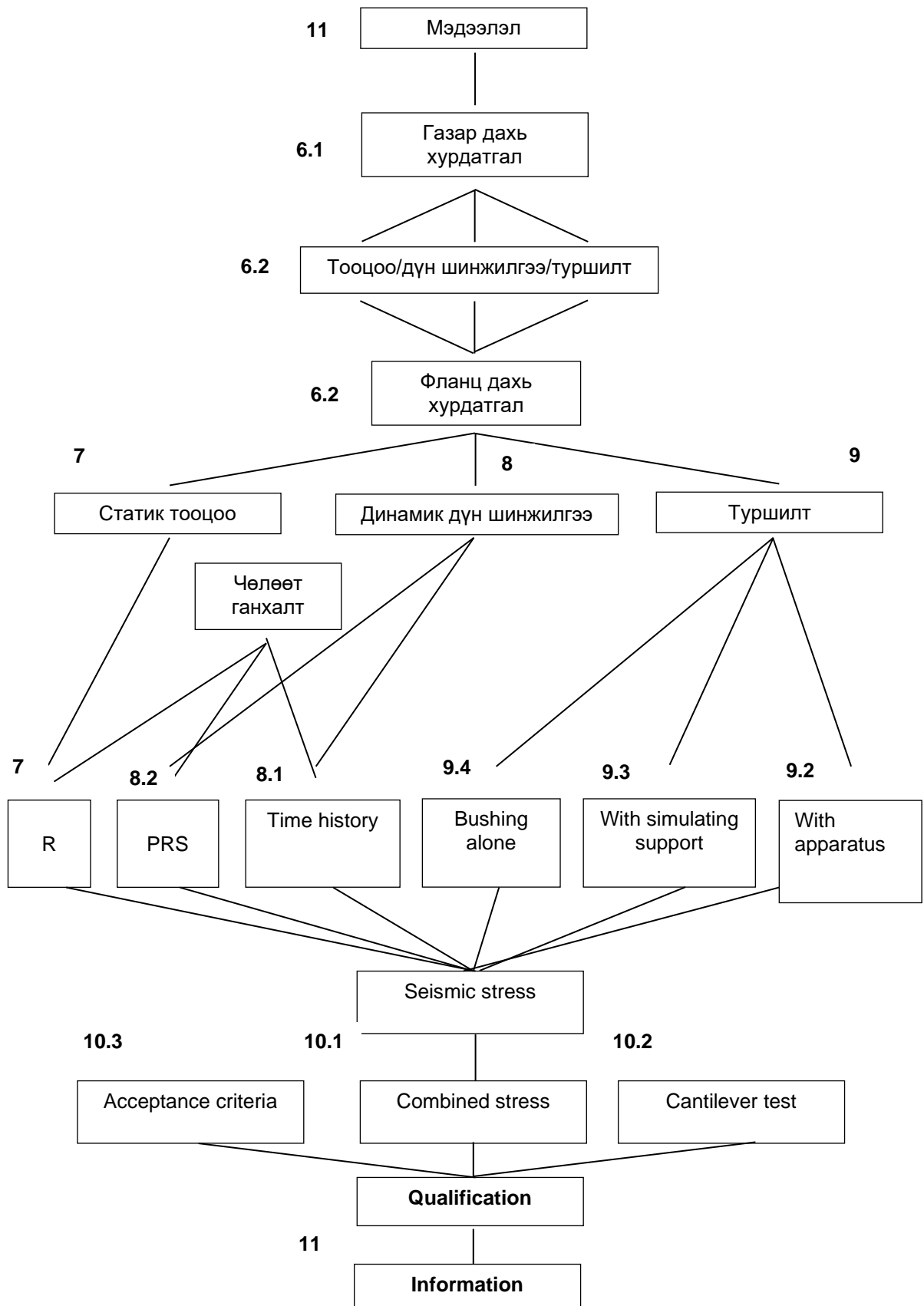
Тайлбар: Цаг хугацааны түүх болон холбогдох хариу үйлдлийн хүрээг зөвхөн жишээ болгон үзүүлэв.

NOTE: Time histories and relevant response spectra are given as examples only

4 дүгээр зураг. Хурдатгалын утгыг тогтоох

Figure 4 - Determination of the severity

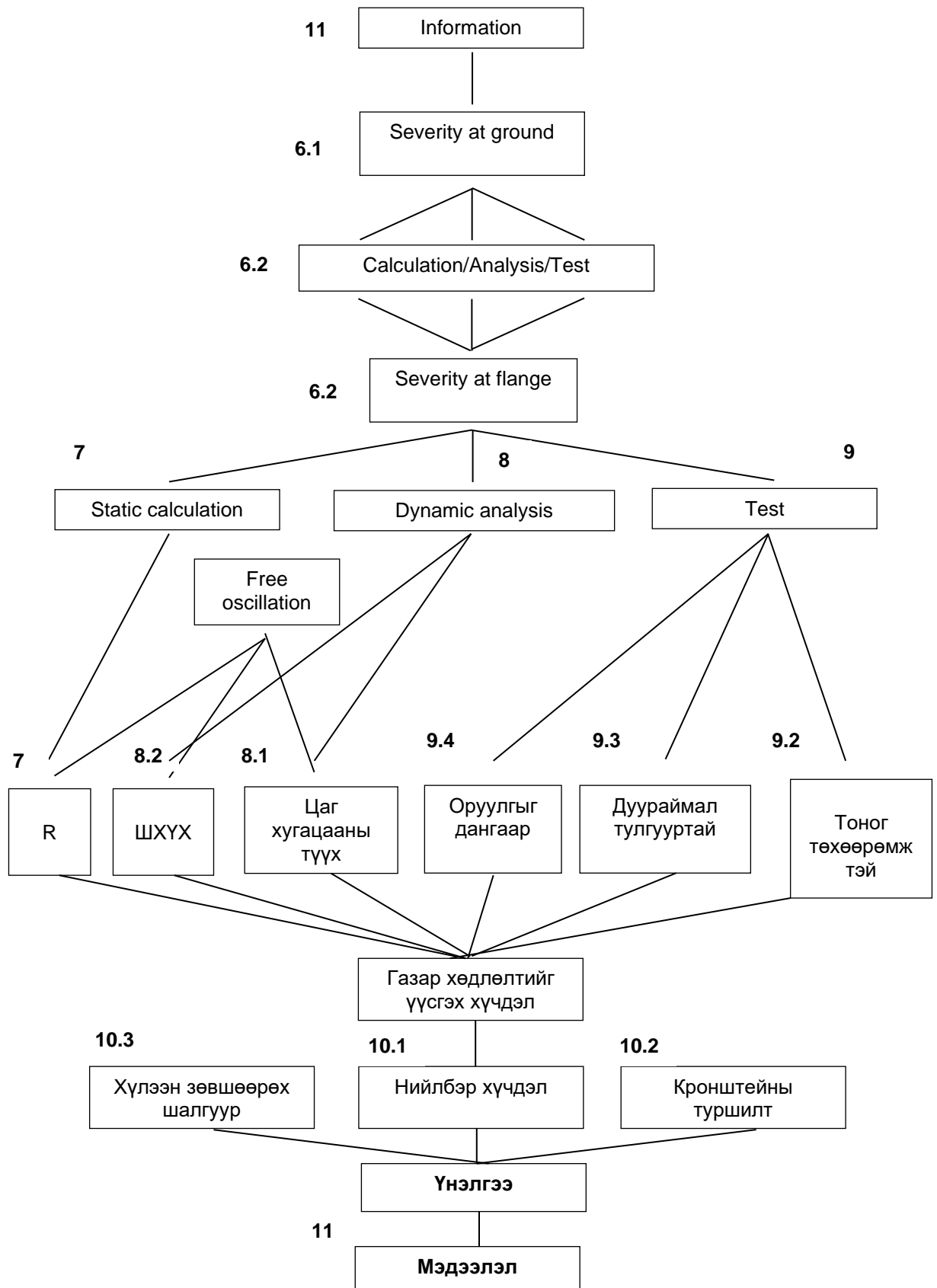
А хавсралт
(Мэдээллийн зориулалттай)
Газар хөдлөлтийг тэсвэрлэх чадварыг үнэлэх үйл явцын бүдүүвч



Тайлбар: Хүрээн дээрх тоо нь энэ техникийн тайлангийн бүлэг, дэд бүлгийг зааж байна.

А.1 дүгээр зураг. Газар хөдлөлтийг тэсвэрлэх чадварыг үнэлэх үйл явцын бүдүүвч

Annex A
(informative)
Flow chart for seismic qualification



NOTE-Numbers at the blocks refer to clauses and subclauses of this technical report.

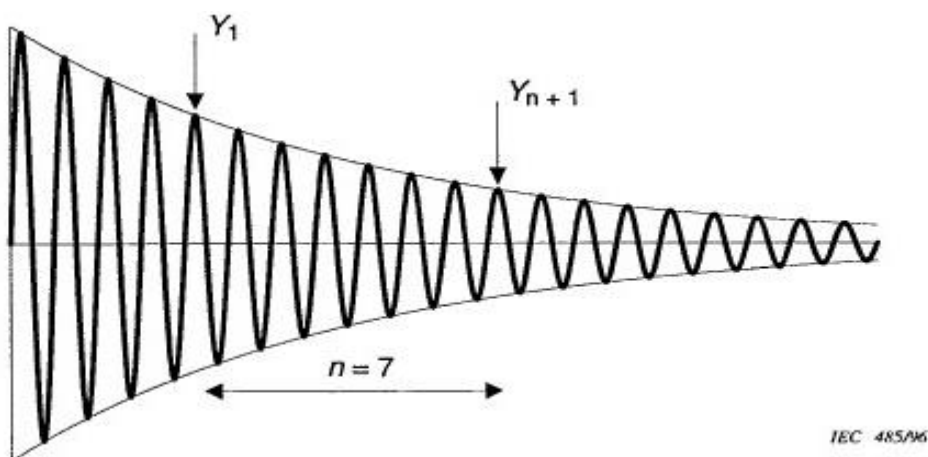
Figure A.1 - Flow chart for seismic qualification

В Хавсралт

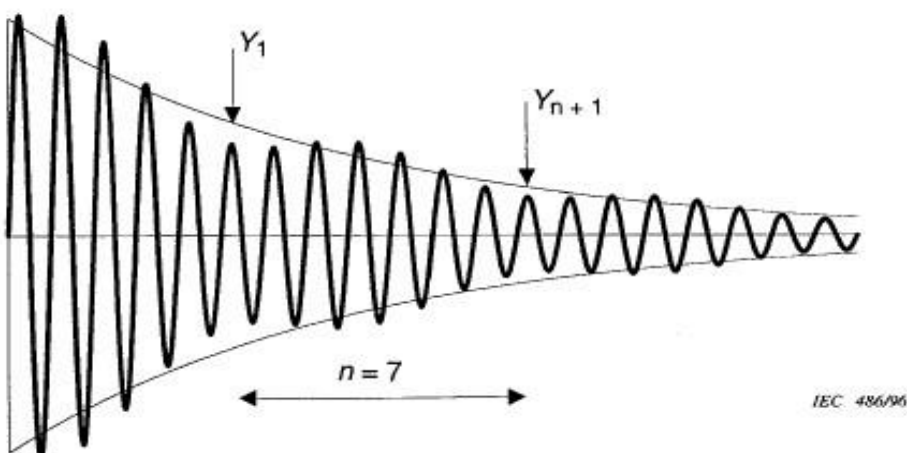
(Мэдээллийн зориулалттай)

Бодит /ердийн/ давтамж болон сааруулах хүчийг чөлөөт хэлбэлзлийн туршилтаар олж болно. Оруулгаас гарсан өгөгдөл болон туршилтын сууриас гарсан өгөгдөл хоёрыг маш анхааралтай ялгаж авах ёстой. Бодит хэрэглээний үеэр гарах өгөгдлийг олж авахын тулд тоног төхөөрөмж дээр суурилуулсан оруулга дээр туршилт хийж болно. Оруулга нь шугаман бус динамик шинж чанартай учраас давтамж болон сааруулах хүчний утгыг зөв олохын тулд туршилтыг аль болох газар хөдлөлтийн үеэр гарах магадлал бүхий далайцын түвшинтэй төстэй түвшинд хийвэл зохино.

Оруулгыг туршилтын суурь эсвэл тоног төхөөрөмж дээр суурилуулахдаа бодит ажиллагааны үед байх нөхцөлтэй ижил нөхцөлд суурилуулна. Терминалд /холболт/ утас холбож, газар хөдлөлтийн үүсгэх магадлалтай ачааллуудтай харгалзах хүчээр татаж, дараа нь гэнэт суллана.



n нь мөчлөгийн тоог илэрхийлнэ.

В.1 дүгээр зураг. Чөлөөт хэлбэлзлийн нийтлэг тохиолдол

n нь мөчлөгийн тоог илэрхийлнэ.

В.2 дугаар зураг. Хэмнэлтэй чөлөөт хэлбэлзлийн тохиолдол

MNS IEC 61463:2020

В.1 дүгээр зураг дээрх экспоненциал мурей нь оргил утгуудыг дотроо агуулсан. Харин В.2 дугаар зураг дээрх экспоненциал мурейг оргил утгуудын квадрат язгууруудын хамгийн багуудыг ашиглан гаргаж авна.

Сааруулах хүчний харьцааг дараах байдлаар тооцоолно.

$$\frac{1}{2\pi n} \times \ln\left(\frac{Y_n}{Y_{n+1}}\right) \times 100\%$$

Ердийн давтамж болон сааруулах хүчийг В.1 болон В.2 дугаар зурагт үзүүлсэний адил хэд хэдэн хэлбэлзлийн үеийн дараа, гэхдээ далайц ихээхэн сулрахын өмнө хэмжих ёстой.

Энэ аргыг ердийн давтамж болон сааруулах хүчийг хэмжихэд түгээмэл ашигладаг. Бусад аргыг мөн ашиглаж болно.

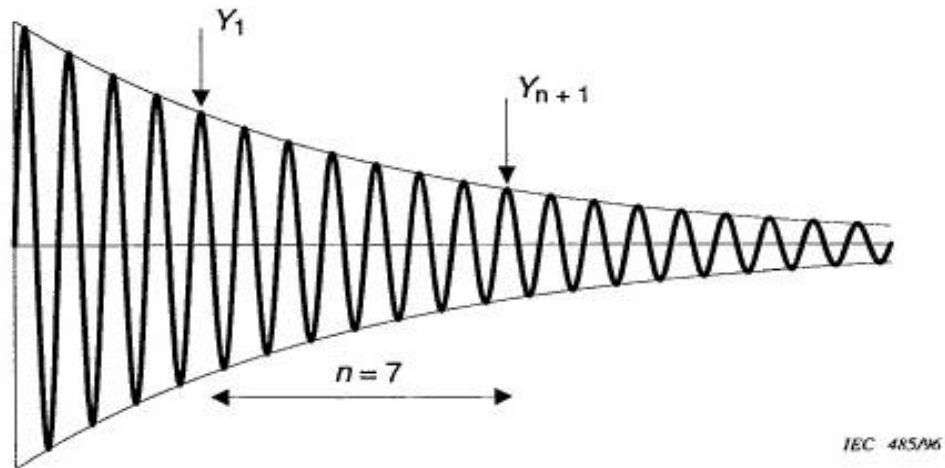
Annex B
(informative)

Free oscillation test

The natural frequency and damping can be obtained by a free oscillation test. Great care should be taken to distinguish between the data of the bushing and the data of the test frame. The test can be performed on the bushing when it is mounted upon the apparatus to obtain data for the actual application. Due to non-linear dynamic behaviour of the bushing, the test should preferably be performed with amplitude levels similar to those expected during an earthquake, in order to obtain correct values on both frequency and damping.

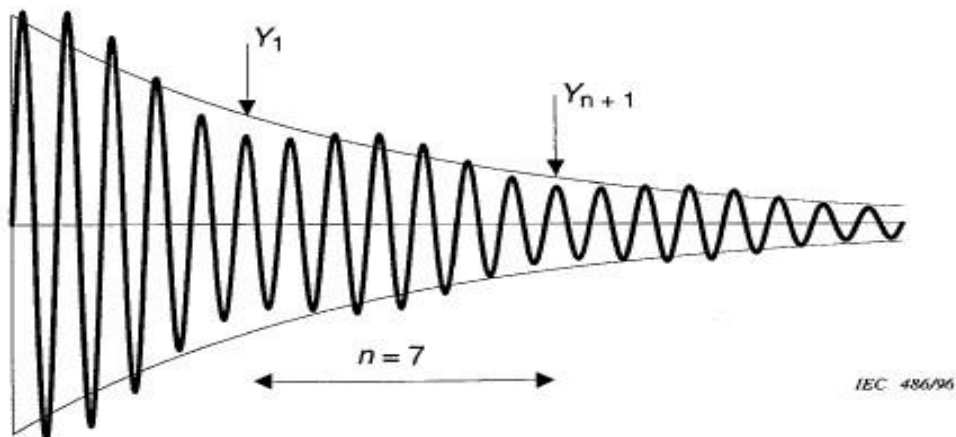
The bushing should be mounted as in service condition to the test frame or apparatus. A string should be connected to the terminal, pulled with a force corresponding to the expected earthquake stresses and then suddenly released.

Measurement transducers attached to the insulator and the bushing flange record the free oscillation of the bushing. If the flange also oscillates, this movement is subtracted if frequency and damping of the bushing itself are the sought values.



n represents the number of cycles.

Figure B.1 - Typical case of free oscillations



n represents the number of cycles.

Figure B.2 - Case of free oscillations with beats

MNS IEC 61463:2020

The exponential curve in figure B.1 is the envelope of the peak values. The exponential curve in figure B.2 is obtained by using the least square roots of the peak values.

The damping ratio is calculated as follows:

$$\frac{1}{2\pi n} \times \ln\left(\frac{Y_n}{Y_{n+1}}\right) \times 100\%$$

The natural frequency and damping should be measured after a few periods, and before the amplitude has been significantly attenuated as shown in figures B.1 and B.2.

The method described is commonly used to measure natural frequency and damping. Other methods can also be used.

С Хавсралт
(Мэдээллийн зориулалттай)
Хүндийн төв дэх ганхалт

Оруулгын хүндийн төв дэх чичирхийллийг статик тооцоогоор үнэлэхэд чухал ач холбогдолтой (Энэ стандартын 7 дугаар зүйлийг үзнэ үү).

Дор тайлбарласнаар газар хөдлөлтийн үеэр оруулгын хүндийн төвд үүсэх чичирхийлэл болон энэ стандартын 7 дугаар зүйлд ашигласан эквивалент хурдатгал a_{bg} -ын хооронд ямар нэгэн энгийн хамаарал байдаггүй. Критик хөндлөн огтлолын хэсэгт газар хөдлөлтийн үеэр үүсэх гулзайх момент $M_s = a_{bg} \times d_p \times m_p$ -ыг олохын тулд a_{bg} -ын утгыг авдаг. $a_{bg} = a_f \times S_c \times R$ гэсэн холбоог дараагийн хэсгүүдэд тайлбарлав.

С.1 Эхний гулзайх горимын нөлөө

Оруулга нь доороо бэхлэгдсэн чөлөөт шонтой ижил гэж тооцогдох ба газар хөдлөлтийн хэлбэлзэл нь зөвхөн эхний гулзайх горимыг өдөөнө гэж тооцдог. Эхний гулзайх горим болон газар хөдлөлтийн өдөөлтийн хувьд энэ загварыг тооцоолсноор дараах зүйлсийг тодорхойлж болно. Үүнд:

- Сууринд үүсэх гулзайлтын момент;
- Оруулгын хүндийн төвийн хурдатгал (a_{cg}).

Иймээс $a_{bg} = 1.67 \times a_{cg} = 0,89 \times R \times a_f$ болно.
Үүнийг ихэвчлэн $a_{bg} = R \times a_f$ гэж үздэг.

ТАЙЛБАР: $a_{cg} = 0.54 \times R \times a_f$

С.2 S_c -ын тодорхойлолт

S_c коэффициент нь олон өөр давтамжийн өдөөлт болон олон горимын үеийн хариу үйлдэл (энэ стандартын 4 дүгээр зүйл дэх тодорхойлолтыг үзнэ үү)-ийн аль алиных нь нөлөөг тооцох зорилготой юм.

Оруулгын хувьд эхний гулзайх горим нь (магадгүй хоёр дахь гулзайх горим нь ч бас) өдөөгдсөн байдаг. Эхний гулзайх горимтой харьцуулахад хоёр дахь гулзайх горимын нөлөөнөөс болж үүсэх ачааллын өсөлт 4.5 хувиас хэтрэхээргүй байна. Ямар нэгэн нэмэлт аюулгүй байдлын коэффициентгүйгээр S_c -ын утгыг 1.0-ээс 1.5 хооронд байлгахыг зөвлөдөг.

С.3 a_{bg} -ын утга

Дээрхээс үндэслэн:

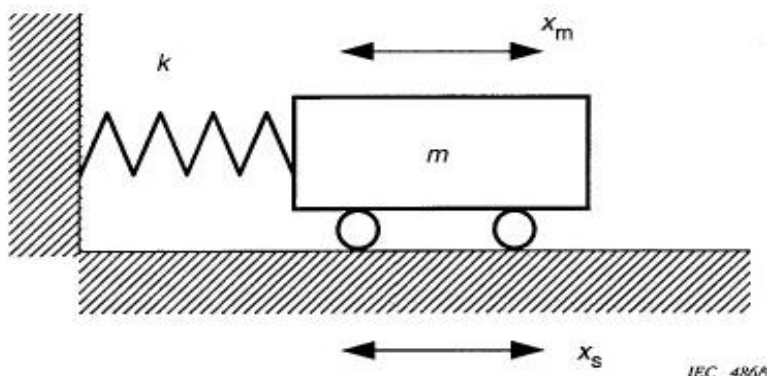
$$a_{bg} = S_c \times a_f \times R = 1,5 \times a_f \times R$$

Дээр тайлбарласнаар, a_{bg} нь газар хөдлөлтийн өдөөлтөөс болж хүндийн төв дэх хурдатгалаас ялгаатай юм.

a_{bg} болон a_{cg} нь фланцын түвшинд ШХҮХ-тэйгээр сэгсрэгч ширээн дээр өдөөгдсөн оруулгын хүндийн төвд хэмжигдсэн утгаас ялгаатай байна. Сэгсрэгч ширээн дээр хийсэн бүх горимоос үүдэн гарах үнэмлэхүй хурдатгалыг хэмжинэ (заримдаа

тэнхлэг хослох нөлөөтэйгөөр). a_{bg} болон a_{cg} нь харьцангуй хурдатгалыг илэрхийлнэ. Үүнийг псевдо-хурдатгал гэж мөн нэрлэнэ. Харьцангуй хурдатгалыг дор тайлбарласны дагуу газар хөдлөлтийн өдөөлт үүсгэнэ.

Дараах нэг чиглэлд хөдлөх боломжтой системийг авч үзнэ үү.



С.1 зураг. Нэг чиглэлийн систем

Хөдөлгөөний тэгшитгэл нь:

$$m \ddot{X}_m + k (X_m - X_s) = 0$$

Үүнд:

X_m - массын үнэмлэхүй шилжилт

\ddot{X}_m - массын үнэмлэхүй хурдатгал

X_s - суурийн үнэмлэхүй шилжилт

\ddot{X}_s - суурийн үнэмлэхүй хурдатгал

Үүнээс үүдэн $m \ddot{X} + kX = -m \ddot{X}_s$ болно.

Үүнд:

- X нь $(X_m - X_s)$ -ын харьцангуй шилжилт;

- \ddot{X} нь $(\ddot{X}_m - \ddot{X}_s)$ -ын харьцангуй хурдатгал;

- $m \ddot{X}_s$ нь системд үйлчилж байгаа хүч.

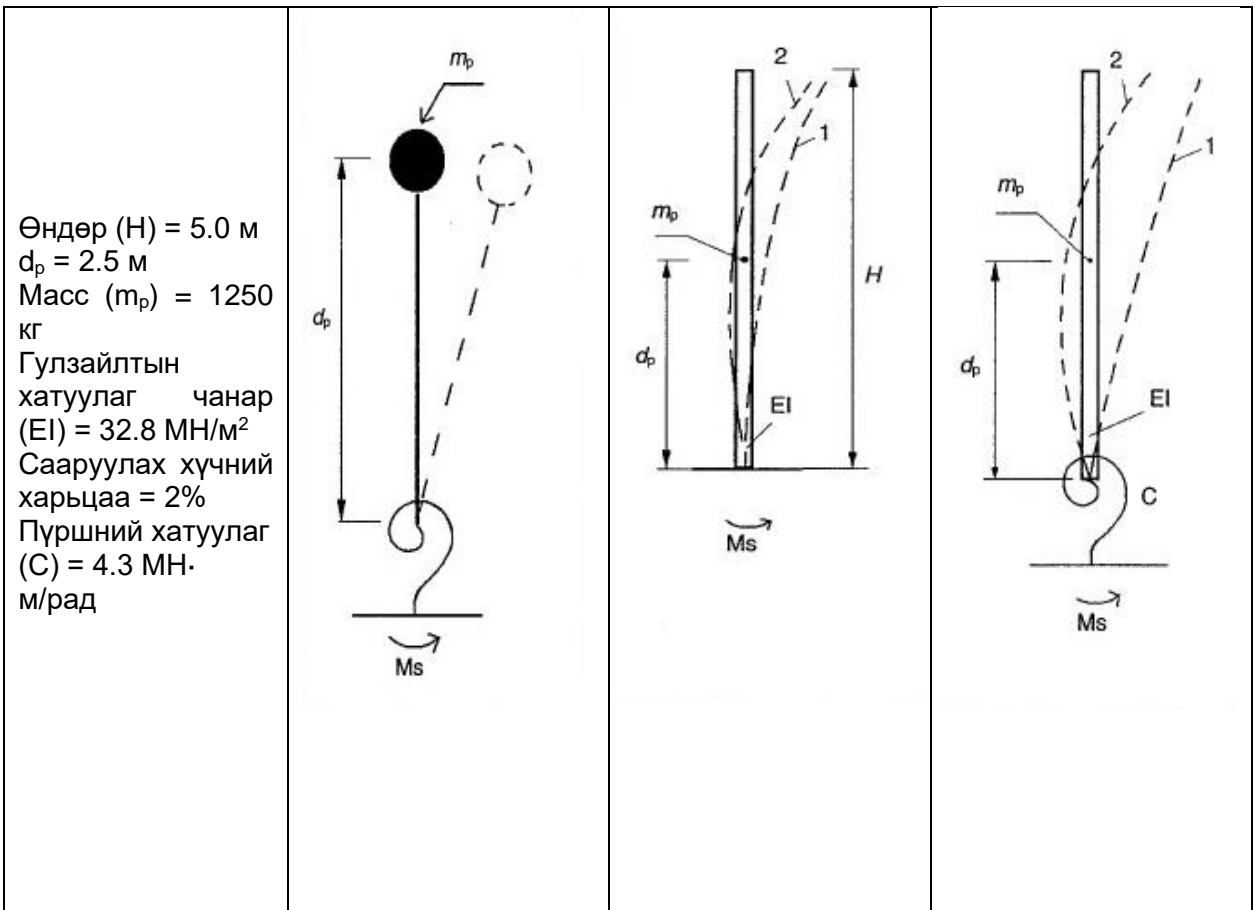
\ddot{X} (энэ стандартын С.1-д a_{cg} гэж нэрлэгдсэн)-ийн утгыг тооцооллоор олно. Улмаар a_{cg} нь оруулгын хүндийн төв дэх харьцангуй хурдатгалыг илэрхийлнэ.

Гулзайх момент (болон чухал хөндлөн огтлол дахь стресс) нь харьцангуй хурдатгалтай холбоотой бөгөөд үнэмлэхүй хурдатгалтай холбоогүй. Энгийнээр яривал, хурдатгал гэсэн нэр томъёогоор харьцангуй хурдатгалыг хэлж байгаа юм.

С.4 Кронштейн төрлийн бүтцийн газар хөдлөлтийн нийтлэг хариу үйлдэл

С.1 Хүснэгт - Газар хөдлөлтийн нийтлэг хариу үйлдлийн жишээнүүд

Үзүүлэлт	Бүтцийн төрөл		
		Ганц масс (цугларсан масс)	Гулзайлтын хазайлт (бэхэлсэн суурь)



	Гори м1	Гори м2	КНКЯ	Гори м 1	Гори м 2	КНК Я	Гори м1	Гори м 2	КНК Я
Байгалийн давтамж (Гц)	3.7	-	-	8.0	46.9	-	3.0	35.3	-
Хариу үйлдлийн хурдатгал (м/с ²)	14	-	-	14	5	-	14	5	-
a_{cg} (м/с ²)	14	-	14	5.8	3.0	6.5	10.5	2.2	10.7
Аяллын хурдатгал (м/с ²)	-	-	-	21.6	4.1	22.0	21.0	3.6	21.3
M_s (Н·м)	43750	-	43750	39135	1250	39155	43217	152	43127

Тайлбар: Энэ хүснэгтийн утгуудыг хязгаарлагдмал элементийн дүн шинжилгээнээс авсан (Тимошенкогийн төрлийн саваа).

Олон төрлийн цахилгаан тоног төхөөрөмжийг зөвхөн доод сууриараа фундаменттай холбогдсон кронштейны төрлийн бүтэц гэж үзэж болно. Ийм тоног төхөөрөмжийн жишээнд оруулга, хэмжүүрийн трансформатор болон хэт хүчдэлийн цэнэг шавхагч орно. Бүтцүүдийн динамик шинж чанарыг тооцоолдог олны сайн мэдэх томъёонуудыг ашиглан энэ төрлийн бүтцийн газар хөдлөлтийн хариу үйлдлийг урьдчилан мэдэж болно.

Тоног төхөөрөмжийн уян харимхай шинж чанар нь уян харимхай шон гулзайснаас болж хэлбэрээ алдахад гардаг шинж чанараас багагүй, өнцөгт уян хатан чанартай суурь бүхий нугастай уян харимхай саваа гаргадаг шинж чанараас ихгүй байна.

MNS IEC 61463:2020

Бүтцийн хамгийн бага горим нь газар хөдлөлтийн хариу үйлдэлд ихэвчлэн давамгайлдаг (энэ дүрмээс гажих тохиолдол гэвэл 1 Гц-ээс доош хамгийн нам ердийн давтамжтай маш уян хатан бүтцүүд байж болно), ялангуяа горимын хариу үйлдлийг үр дүнд гарсан загварын утгатай нэгтгэхэд КНКЯ (квадратуудын нийлбэрээс квадрат язгуур гаргах) аргыг ашиглаж болох юм.

Критик хөндлөн огтлолтой хэсэгт үүсэх гулзайх момент (M_s)-ыг үнэлэхийн тулд хүндийн төвд үүсэх газар хөдлөлтийн хурдатгал (хамгийн бага горимын ердийн давтамж болон сааруулах хүчийг барагцаалсан дүнгээс гарах хурдатгал)-ыг ашиглан гаргадаг хялбаршуулсан нийтлэг журмаар тооцоолоход их ойролцоо дүн гардаг. Энэ стандартын С.1 хүснэгтээс бүтцүүдийн жишээг үзнэ үү.

Бүтцийн дунд хэсэгт үүсэх газар хөдлөлтийн бодит хурдатгал нь хариу үйлдлийн хүрээний хурдатгалтай тэнцүү бус, харин бага байх бөгөөд (хамгийн бага өөрийн горимын хэлбэрээс хамаарч) тэр хурдатгалын утгын 0.5-аас 0.8-ын хооронд ихэвчлэн байдаг. Бүтцийн үзүүр дэх хурдатгалыг хариу үйлдлийн хурдатгалаас 1.6 дахин их утгаар тогтоох нь тохиромжтой.

Annex C
(informative)

Oscillations at the centre of gravity

The vibration at the centre of gravity of the bushing is of importance for the qualification by static calculation (see clause 7).

As explained below, there is no simple relationship between the vibration occurring at the centre of gravity of the bushing during an earthquake and the equivalent acceleration a_{bg} used in clause 7. The value of a_{bg} is taken in order to obtain $M_s = a_{bg} \times d_p \times m_p$ that gives a bending moment at the critical cross-section equivalent to that occurring during an earthquake. The explanation of the relation $a_{bg} = a_f \times S_c \times R$ is given in the following clauses.

C.1 Effect of the first bending mode

It is assumed that the bushing is equivalent to a clamped free beam and that the seismic wave excites only the first bending mode. By computation of this model for the first bending mode, and for a seismic excitation, the following can be determined:

- the bending moment at the base;
- the acceleration of the centre of gravity of the bushing (a_{cg}).

Therefore: $a_{bg} = 1,67 \times a_{cg} = 0,89 \times R \times a_f$

This is commonly taken as: $a_{bg} = R \times a_f$

NOTE: $a_{cg} = 0,54 \times R \times a_f$

C.2 Determination of S_c

The coefficient S_c aims to take into account the effects of both multifrequency excitation and multimode response (see definition in clause 4).

In the case of a bushing, the first bending mode, and possibly the second bending mode, is excited. An increase in stress of 4,5 % maximum over that of the first bending mode, is obtained by the effect of the second bending mode. A value of S_c between 1,0 and 1,5 without any additional safety margin is recommended.

C.3 Value of a_{bg}

From the above:

$$a_{bg} = S_c \times a_f \times R = 1,5 \times a_f \times R$$

As explained above, a_{bg} is different from the acceleration at the centre of gravity due to the seismic excitation.

a_{bg} and a_{cg} differ from the value measured at the centre of gravity of the bushing excited on the shaker table with the RRS at the flange level. On the shaker table the absolute acceleration resulting from all modes is measured, sometimes with the effect of coupling axes. a_{bg} and a_{cg} represent a relative acceleration also called pseudo-acceleration. The relative acceleration comes from the seismic excitation as explained below.

Consider the following single degree of freedom system:

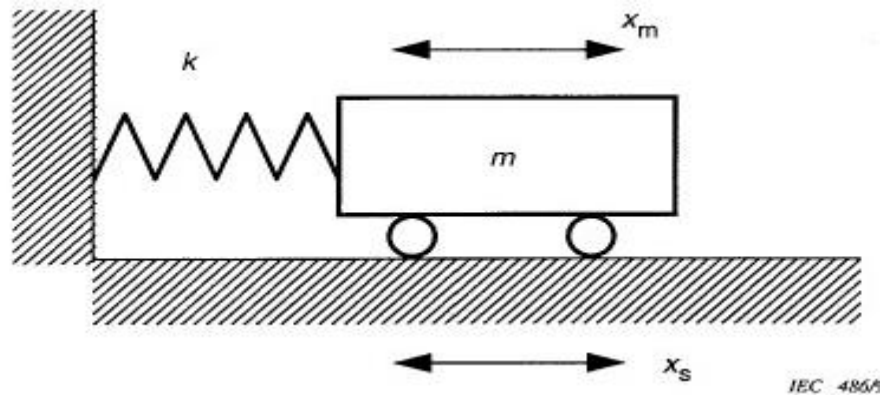


Figure C.1-Single degree of freedom system

The equation of motion is:

$$m \ddot{X}_m + k (X_m - X_s) = 0$$

where

X_m is the absolute displacement of the mass;

\ddot{X}_m is the absolute acceleration of the mass;

X_s is the absolute displacement of the base;

\ddot{X}_s is the absolute acceleration of the base;

That gives: $m \ddot{X} + kX = -m \ddot{X}_s$

where

- X is the relative displacement ($X_m - X_s$);

- \ddot{X} is the relative acceleration ($\ddot{X}_m - \ddot{X}_s$);

- $m \ddot{X}_s$ is the force acting on the system.

By computation, a value \ddot{X} (termed a_{cg} in C.1) is obtained. Then a_{cg} represents the relative acceleration at the centre of gravity of the bushing.

The bending moment (and stress at the critical cross-section) is connected to the relative acceleration and not to the absolute acceleration. Commonly speaking, the term acceleration is used for relative acceleration.

C.4 Typical seismic response of cantilever type of structures

Table C.1 - Examples of typical seismic responses

Characteristic	Type of structure								
	Single mass (concentrated mass)			Bending defle (clamped base)			Hinged elastic rod with engular spring (elastic base)		
Height(H) = 5.0 m $d_p = 2.5$ m Mass (m_p) = 1250 kg Bending stiffness (EI) = 32.8 MN/m ² Damping ratio = 2% Spring stiffness (C) = 4.3 MN·m/rad									
	Mode 1	Mode 2	SRSS	Mode 1	Mode 2	SRS S	Mode 1	Mode 2	SRS S
Natural frequency (HZ)	3.7	-	-	8.0	46.9	-	3.0	35.3	-
Response acceleration (M/c ²)	14	-	-	14	5	-	14	5	-
$a_{cg}(m/s^2)$	14	-	14	5.8	3.0	6.5	10.5	2.2	10.7
Acceleration of the tip (M/c ²)	-	-	-	21.6	4.1	22.0	21.0	3.6	21.3
M_s (H·m)	43750	-	43750	39135	1250	39155	43217	152	43127

NOTE: Values of this table are obtained from a finite element analysis (Timoshenko type of beam).

Many types of electrical apparatus may be considered as a cantilever type of structure only connected to foundation at base. Examples of such apparatus are bushings, measurement transformers and surge arresters. The seismic response of this type of structure can be predicted using well-known formulae for the dynamic behaviour of structures.

The elastic characteristics of apparatus will be inside a range given by the behaviour of an elastic beam deformed by bending and that of a hinged elastic rod with angular flexibility at base.

MNS IEC 61463:2020

The seismic response is usually dominated by the lowest mode of structure (exceptions may be very flexible structures with lowest natural frequency below 1 Hz), especially since SRSS procedure (Square Root of the Sum of Squares) may be used for combining modal response to resultant design value.

To assess the bending moment (M_s) at the critical cross-section, the commonly used simplified procedure of applying a seismic acceleration (given by estimated natural frequency and damping of lowest mode) at the centre of gravity yields a good approximation. See examples of structures in table C.1.

The actual seismic acceleration at the middle of the structure is, however, not equal to the acceleration of the response spectrum but lower, typically in the range 0,5 to 0,8 of that acceleration level, depending on the shape of the lowest eigenmode. For the acceleration at the tip of the structure, a value of 1,6 times the response acceleration is appropriate.

Хавсралт D (Мэдээллийн зориулалттай)

Статик тооцоогоор үнэлэх - Трансформаторын оруулга дээрх жишээ

D.1 Газар хөдлөлтөөс үүсэх газрын хөдөлгөөн

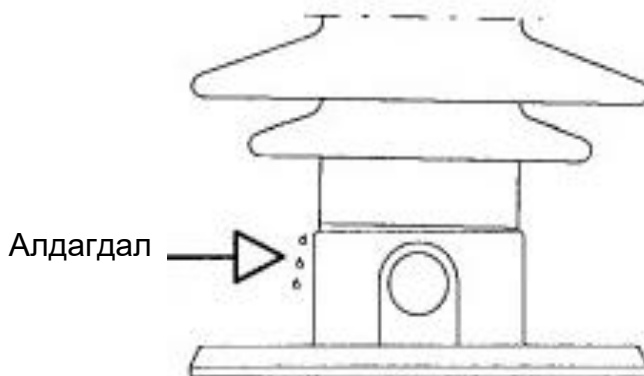
Оруулгад нөлөөлөх газар хөдлөлтийн бүх тооцоонд босоо хурдатгалыг чөлөөт уналтын хурдатгалын чиглэлийн дагуу буюу доошоо чиглэлтэйгээр хэрэглэнэ. Энэ нь оруулга дээр хамгийн их ачаалал өгдөг.

- газрын хэвтээ хурдатгал, a_{gh} , (ТҮХ): 5 м/с^2

- газрын босоо хурдатгал, a_{gv} : 2.5 м/с^2

D.2 Оруулгын чухал хэсэг

Кронштейнэн туршилтыг хийх үед, эсвэл газар хөдлөлтийн үед оруулгын хамгийн критик хэсэг нь тусгаарлагчийн суурь хэсэг байдаг. Тос алдагдах, тусгаарлагчийн сууринд үүсэх гулзайлгах ачаалал (D.1 дүгээр зургийг үзнэ үү) нь томоохон эрсдэл болно. Энэ шалтгааны улмаас тусгаарлагчийн сууринд үүсэх гулзайх моментыг тооцоолдог.



D.1 зураг. Оруулгын чухал хэсэг

D.3 Статик тооцоо

Трансформаторын сав бол оруулгатай харьцуулахад маш хүнд байдаг боловч хязгаарлагдмал элементийн (FEM) дүн шинжилгээнээс харахад трансформаторын савыг хатуу гэж үзэж болохооргүй нь харагдана. Газрын хурдатгал нь трансформаторын саваар дамжин трансформаторын савны таг хүрэхдээ хүч нэмэгдүүлэх K коэффициентээр нэмэгддэг. Суурь мэдээлэл байхгүй үед өсөлтийн коэффициентийг 1.5 байна гэж үздэг (Энэ стандартын 6.2-ыг үзнэ үү). Оруулгыг тавиур дээр суурилуулсан бол үүнийг хатуу гэж үзэж болно. Тиймээс трансформаторын савны таг болон тавиур ижил хурдатгалтай байна гэсэн үг.

- трансформаторын савны таг/тавиурын хэвтээ чиглэлийн хурдатгал

$$(K \times a_{gh} = K \times \text{ТҮХ}): \quad 7.5 \text{ м/с}^2$$

трансформаторын савны таг/тавиурын босоо чиглэлийн хурдатгал

$$(K \times a_{gv}): \quad 3.5 \text{ м/с}^2$$

Трансформаторын савны тагийн хурдатгал оруулгад очихдоо хариу үйлдлийн R коэффициентээр нэмэгдэнэ. Хариу үйлдлийн коэффициент нь трансформаторын савны таг дээр суурилуулсан оруулгын ердийн давтамж болон сааруулах хүчнээс хамаарна. Хариу үйлдлийн R коэффициентын утгыг 2 дугаар зургаас авна.

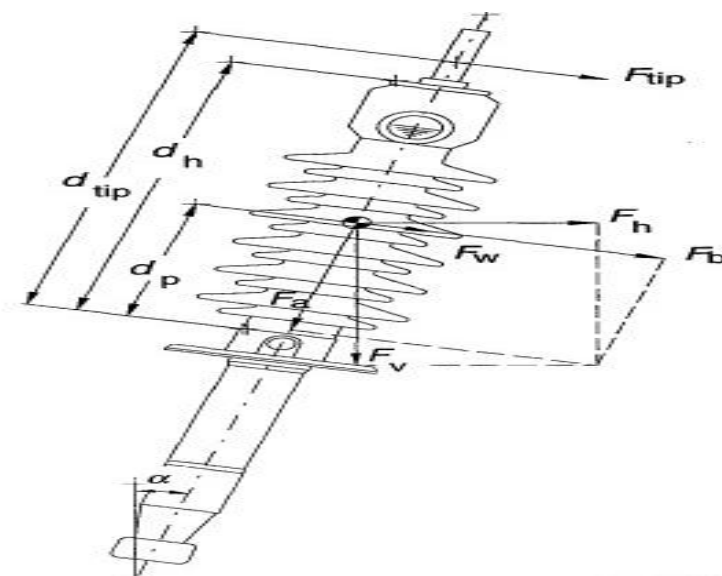
Хэрэв хариу үйлдлийн R коэффициентыг тооцоолох боломжгүй байвал тодорхой сааруулах хүчний утгад гарах хариу үйлдлийн коэффициентын хангалттай ихээр тооцсон утгыг ашиглана. Трансформаторын савны таг дээр суурилуулсан оруулгын хувьд сааруулах хүчний харьцаа 5% байна гэж тооцож болно.

- трансформаторын савны таг дээр суурилуулсан оруулгын ердийн давтамж (Гц): тодорхойгүй.
- трансформаторын савны таг дээр суурилуулсан оруулгын сааруулах хүчний харьцаа: 5%
- 2 дугаар зургаас авсан хариу үйлдлийн R коэффициент (хангалттай ихээр тооцсон утга): 1.74

Хариу үйлдлийг дараа нь S_c коэффициентоор үржүүлнэ. Энэ коэффициентын хангалттай ихээр тооцсон утга нь 1.5 байна.

Трансформаторын савны тагийн хурдатгал, трансформаторын савны таг дээр суурилуулсан оруулгын хариу үйлдлийн коэффициент, статик коэффициент болон агаарын талын масс, оруулгын m_p зэрэг нь оруулгын агаарын талын хүндийн төвд нөлөөлөх хүчийг ихэсгэдэг (D.3.1-ийг үзнэ үү). Хэрэв босоо хавтгайд ямар нэг өнцгөөр оруулгыг суурилуулсан бол газар хөдлөлтийн босоо болон хэвтээ хурдатгал оруулгад нөлөөлнө.

D.3.1 Газар хөдлөлтийн ачаалал



Зураг D.2 - Оруулгад нөлөөлөх хүчнүүд

Эдгээр газар хөдлөлтийн тооцоо хийхэд босоо хурдатгалыг хүндийн хүчний хурдатгалтай ижил чиглэлд доошоо чиглүүлж хэрэглэнэ. Энэ нь оруулга дээр хамгийн их ачааллыг үүсгэдэг.

Оруулгын агаарын талын масс, m_p , нь оруулгын фланцаас дээшхи оруулгын бүх хэсгийн масс юм.

MNS IEC 61463:2020

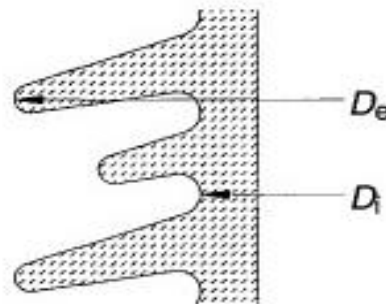
d_p нь оруулгын фланцын чухал хэсгээс агаарын талын хүндийн төв хүртэлх зай (зураг D.2-ыг үзнэ үү).

- агаарын талын масс, m_p : 63 кг
- d_p : 590 мм
- босоо хавтгайгаастооцсон суурилуулалтын өнцөг, α : 20°
- хэвтээ хүч, F_h , ($m_p \times K \times a_{gh} \times R \times S_c$): 1233 Н
- босоо хүч, F_v , ($m_p \times K \times a_{gv} \times R \times S_c + m_p \times g$): 1247 Н
- шахалтын хүч, F_a , ($-F_h \times \sin \alpha + F_v \times \cos \alpha$): 750 Н
- гулзайлтын хүч, F_b , ($F_h \times \cos \alpha + F_v \times \sin \alpha$): 1585 Н
- газар хөдлөлт болон хүндийн хүчний нөлөөнөөс үүсэх гулзайх момент, M_{bs} , ($F_b \times d_p$): 0.94 кН·м

D.3.2 Салхины ачаалал

Салхины ачааллыг статик ачаалал гэж үздэг. Ажиллагааны үеийн бүх цахилгааны болон орчны ачааллын хамгийн их утгуудыг нэмбэл бодит байдалд нийцэхгүй хэт их тоо гарах тул газар хөдлөлтийн үеэр нэгэн зэрэг үйлчилж байгаа салхи 70 Па-ын даралтай байхаар тооцно.

Үүссэн салхины хүч (F_w) нь оруулгын агаар талын хүндийн төвд нөлөөлдөг (Зураг D.2-ыг үзнэ үү).



Зураг D.3 - Шаазангийн диаметрууд

- салхины даралт, p : 70 Па
- шаазан саравчны гадаад диаметр, D_e , зураг D.3-ыг үзнэ үү: 280 мм
- шаазан голын гадаад диаметр, D_i , зураг D.3-ыг үзнэ үү: 150 мм
- критик солбилцлын хэсгийн оруулгын орой хүртэлх зай, d_h , зураг D.2-ыг үзнэ үү: 1205 мм
- салхины хүч, F_w , зураг D.2-ыг үзнэ үү, ($p \times (D_e + D_i)/2 \times d_h$): 18.14 Н
- салхинаас болж үүсэх гулзайх момент, M_{bw} , ($F_w \times d_p$): 0.01 кН·м

D.3.3 Төгсгөл хэсгийн ачаалал

Газар хөдлөлтийн үеэр үзүүрийн хэсэгт үүсэх ачаалал нь энэ стандартын 10.1-т заасны дагуу тухайн оруулгын хувьд тогтоосон кронштейн ашигласан ачааллын 70%-тай тэнцүү байна.

- кронштейн ашигласан ачаалал, IEC 137 стандартаас авсан ($U_r = 170$ кВ, $I_r = 800$ А, 1 дүгээр ангилал), F_{op} : 625 Н

MNS IEC 61463:2020

- терминал дахь үзүүрийн ачаалал, F_{tip} , зураг D.2-ыг үзнэ үү, ($F_{op} \times 0.7$): 438 Н
- критик солбилцлын хэсгийн терминал хүртэлх зай, d_{tip} , зураг D.2-ыг үзнэ үү: 1325 мм
- үзүүрийн ачааллаас болж үүсэх гулзайх момент, M_{btip} , ($F_{tip} \times d_{tip}$): 0.58 кН·м

D.4 Гулзайх хүчийг тэсвэрлэх баталгаат чадал

Оруулга нь ямар нэг алдагдал эсвэл гэмтэлгүйгээр IEC 137 стандартад заасны дагуу гүйцэтгэсэн кронштейны туршилтын ачааллыг тэсвэрлэх ёстой. Энэ туршилтын үеэр үүсэх гулзайх моментыг газар хөдлөлтийн, салхины, терминалын ачааллууд болон хүндийн хүчний нөлөөнөөс болж критик хөндлөн огтлолын хэсэгт үүсэх нийт гулзайх моменттой харьцуулах ёстой.

- кронштейн тэсвэрлэх ачаалал, F_{test} : 1250 Н

Annex D
(informative)

Qualification by static calculation - Example on transformer bushing

D.1 Seismic ground motion

In all calculations of earthquakes affecting bushings, the vertical acceleration shall be applied downwards in the direction of the acceleration due to gravity. This gives the greatest load on the bushing:

- horizontal ground acceleration, a_{gh} , (ZPA): 5 m/s²
- vertical ground acceleration, a_{gv} : 2,5m/s²

D.2 Critical part of the bushing

When a cantilever test is performed or during an earthquake, the most critical part of the bushing is at the insulator base. The two major critical factors are the risk of oil leakage (see figure D.1) and the bending stress at the insulator base. For this reason the bending moments are calculated at the insulator base.

D.3 Static calculation

The transformer tank is very heavy compared to the bushings, but finite element (FEM) analysis shows that the transformer tank cannot be considered as rigid. The ground acceleration is amplified through the transformer tank to the transformer tank cover with an amplification factor K. Without background information, the amplification factor K is assumed to be 1,5 (see 6.2). If the bushing is mounted on a turret this can be considered rigid.

Therefore the transformer tank cover and the turret are subjected to the same acceleration:

- horizontal acceleration at the transformer tank cover / turret

$$(K \times a_{gh} = K \times \text{ZPA}): 7,5 \text{ m/s}^2$$

- vertical acceleration at the transformer tank cover/turret

$$(K \times a_{gv}): 3,5\text{m/s}^2$$

The acceleration of the transformer tank cover will be amplified to the bushing with the response factor R. The response factor depends on the natural frequency and the damping of the bushing mounted on the transformer tank cover. The value of the response factor R is taken from figure 2.

If the response factor R cannot be estimated, the conservative value of the response factor at a certain value of damping is used. For a bushing mounted on a transformer tank cover a damping ratio of 5% can be assumed:

- natural frequency for bushing mounted on the transformer tank cover (Hz): Unknown
- damping ratio for bushing mounted on the transformer tank cover: 5%
- response factor R, taken from figure 2 (conservative value): 1,74

The response is then multiplied by a coefficient, S_c , which takes into account both multifrequency excitation and multimode response. The conservative value of the coefficient is 1,5.

The acceleration of the transformer tank cover, the response factor of the bushing mounted on the transformer tank cover, the static coefficient and the air side mass, m_p of the bushing give rise to a force that affects the bushing at the air side centre of gravity (see D.3.1). If the bushing is mounted at angles to the vertical plane, both the vertical and the horizontal parts of the earthquake will affect the bushing.

D.3.1 Seismic load

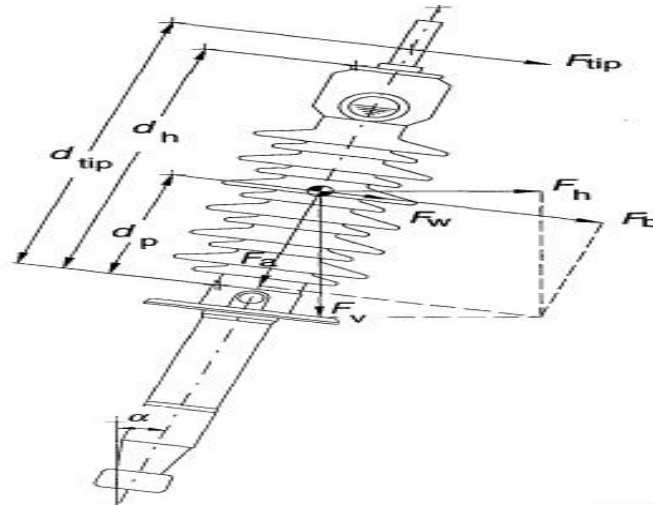


Figure D.2 - Forces affecting the bushing

In these seismic calculations the vertical acceleration is applied downwards, in the same direction as the acceleration due to gravity. This produces the greatest load on the bushing.

The air side mass of the bushing, m_p , is the mass of all the parts of the bushing above the bushing flange.

d_p is the distance from the critical part of the bushing flange to the air side centre of gravity (see figure D.2):

- air side mass, m_p : 63 kg
- d_p : 590 mm
- mounting angle to the vertical plane, α : 20°
- horizontal force, F_h , ($m_p \times K \times a_{gh} \times R \times S_c$): 1233 N
- vertical force, F_v , ($m_p \times K \times a_{gv} \times R \times S_c + m_p \times g$): 1247 N
- compressive force, F_a , ($-F_h \times \sin \alpha + F_v \times \cos \alpha$): 750 N
- Bending force, F_b , ($F_h \times \cos \alpha + F_v \times \sin \alpha$): 1585 N
- bending moment due to the seismic event and gravity, M_{bs} , ($F_b \times d_p$): 0,94 kN·m

D.3.2 Wind load

Wind loads are considered as static loads. As a combination of the extreme values of all electrical and environmental service loads would lead to unrealistic conservatism, a wind pressure of 70 Pa acting at the same time as an earthquake should be assumed.

MNS IEC 61463:2020

The resulting wind force (F_w) affects the bushing in its air side centre of gravity (see figure D.2).

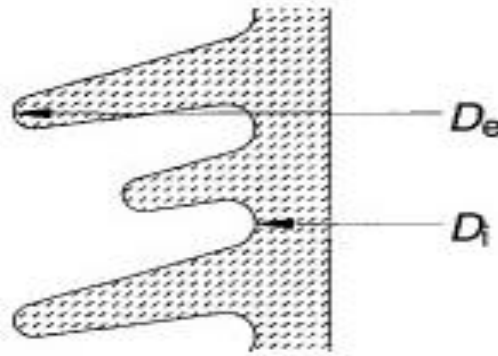


Figure D.3 - Porcelain diameters

- wind pressure, ρ : 70 Pa
- outer diameter of porcelain sheds, D_e , see figure D.3: 280 mm
- outer diameter of porcelain core, D_i , see figure D.3: 150 mm
- distance from the critical cross-section to the top of the bushing, d_h , see figure D.2: 1205 mm
- wind force, F_w , see figure D.2,
 $(\rho \times (D_e + D_i)/2 \times d_h)$: 18,14 N
- bending moment due to the wind, M_{bw} , ($F_w \times d_p$): 0,01 kN·m

D.3.3 Terminal load

The tip load at an earthquake event is equal to 70% of the cantilever operating load specified for the bushing according to 10.1:

- cantilever operating load, taken from IEC 137 ($U_r = 170$ kV, $I_r = 800$ A, Class 1), F_{op} : 625 N
- tip load at the terminal, F_{tip} , see figure D.2, ($F_{op} \times 0,7$): 438 N
- distance from the critical cross-section to the terminal, d_{tip} , see figure D.2: 1325 mm
- bending moment due to the tip load, M_{btip} , ($F_{tip} \times d_{tip}$): 0,58kN·m

D.4 Guaranteed bending strength

The bushing must withstand a cantilever test load in accordance with IEC 137 without leakage or damage. The bending moment occurring during this test should be compared with the total bending moment occurring at the critical cross-section due to the seismic, wind, terminal loads and the effect of gravity:

- cantilever withstand load, F_{test} : 1250N
- bending moment occurring under cantilever test: ($F_{test} \times d_{tip}$) 1,65 kN·m
- total bending moment occurring during the seismic event: ($M_{bs} + M_{bw} + M_{btip}$) 1,53 kN·m

Result of qualification:

The bending strength is greater than the stress during the specified seismic event. The bushing is therefore qualified.

