Servicio Federal de inspección ecológica, tecnológica y nuclear (Rostejnadzor)

**CÓDIGOS Y ESTÁNDARES FEDERALES EN EL CAMPO DEL USO DE LA ENERGÍA ATÓMICA**

Aprobados por orden del Servicio federal de inspección ecológica, tecnológica y nuclear del 4 de octubre del año 2004.

**No.6**

NORMAS
DE CÁLCULO DE DUREZA DE LOS COMPONENTE DE LOS EQUIPOS Y TUBERÍAS PARA INSTALACIONES MARÍTIMAS NUCLEARES PRODUCTORAS DE VAPOR CON REACTORES AGUA A PRESIÓN

NP-054-04

Puestas en vigor a partir
del día 5 de enero del año 2005.

Moscú, 2004

**UDK 621.039**

**NORMAS DE CÁLCULO DE LA DUREZA DE LOS COMPONENTE DE LOS EQUIPOS Y TUBERÍAS PARA INSTALACIONES MARÍTIMAS NUCLEARES PRODUCTORAS DE VAPOR CON REACTORES AGUA A PRESIÓN NP-054-04**

**Servicio federal de inspección ecológica, tecnológica y nuclear, Moscú, 2004**

Las presentes normas y códigos están concebidas para las organizaciones y las empresas que realizan los cálculos de dureza y durabilidad de los componentes y de las tuberías de las instalaciones marítimas nucleares que producen vapor.

Las normas se extienden a los componentes de 1-3 clase de seguridad de acuerdo con las Disposiciones generales de garantía de la seguridad de las instalaciones energéticas nucleares de las naves instalaciones marítimas que producen vapor con reactores de agua a presión, que trabajan con una temperatura del caloportador no mayor de 623 K.

En las normas se establecen los requerimientos generales para hacer los cálculos de dureza y durabilidad de los equipos y las tuberías en las fases de proyección, construcción y uso de las instalaciones marítimas nucleares que producen vapor, y también para hacer las pruebas de estabilidad con vibración, dureza con vibración y dureza cíclica.

Elaboradas por primera vez\*.

**Contenido**

Lista de las abreviaturas Signos convencionales Términos principales y definiciones

1. Disposiciones Generales

1.1. Finalidad y campo de aplicación

1.2. Principios básicos de normas

2. Tensiones nominales permitidas

3. Selección de las medidas principales

4. Cálculo de comprobación

4.1. Disposiciones Generales

4.2. Procedimiento para determinar las tensiones

4.3. Cálculo a la resistencia estática

4.4. Cálculo a la estabilidad

4.5. Cálculo a la resistencia cíclica

4.6. Cálculo a la resistencia a la rotura frágil

4.7. Cálculo a resistencia de impactos

4.8. Cálculo a la resistencia a la vibración

5. Evaluación experimental de la estabilidad a la vibración y resistencia a la vibración

6. Pruebas de las muestras modeladas y de los componentes de estructuras prototípicas a resistencia cíclica

\*El diseño se hizo en el Centro científico técnico de seguridad nuclear y radiológica. En el diseño tomaron participación Karpunin N.I., Nescheretov I.I. (NTC YRB), Evropin S.V., Tashkinov A.V. (ICP MAE), Anoshin V.M. (FGUP "OKBM Afrikantova I.I.").

Durante el diseño fueron valorados y tenidos en cuenta las observaciones de los especialistas de FGUP RNC FR "CNII acad. A.N. Krylov", CKB "Aysberg" S.A., de las subdivisiones estructurales y las circunscripciones interregionales y territoriales.

Lista de abreviaturas

Funcionamiento anormal (FA) - funcionamiento anormal

Operación rutinaria (OR) - operación rutinaria;

PPU - instalación que produce vapor

CT (Condiciones Técnicas) - condiciones técnicas

Signos convencionales

|  |  |
| --- | --- |
|  | - espesor nominal de la pared, mm |
|  | - espesor calculado de la pared, mm |
|  | - adición total al espesor calculado de la pared, mm |
|  | - límite de resistencia (límite de rotura) a la temperatura de cálculo *T.* MPa |
|  | límite de fluencia a temperatura de cálculo G, MPa |
|  | - coeficiente de seguridad según el límite de resistencia |
|  | - coeficiente de seguridad según el límite de fluencia |
|  | - temperatura calculada, K |
|  | - tensión admisible nominal, MPa |
|  | - tensión nominal admisible en tornillos y clavijas, MPa |
|  | - coeficiente crítico de intensidad de presión a la temperatura calculada *T*, MPa-m1/2 |

**Términos y definiciones básicos**

Para los fines de este documento, se utilizan los siguientes términos y definiciones.

1. Amplitud de tensiones - la mitad de la diferencia de las tensiones máximas y mínimas, que surgen en el ciclo de cambio de tensiones.

2. Cargas de vibración - cargas por parte de las estructuras de cuerpo y de los fundamentos de la nave, que son provocadas por las vibraciones de marcha de primer grado y de las aspas, por la fuerza perturbadora de un mecanismo que trabaja cerca, y de fuerzas hidrodinámicas.

3. Prueba hidráulica - carga de los equipos o de las tuberías con presión con el objetivo de comprobar su dureza y hermeticidad después de la fabricación, el montaje, vida útil, reparación o cambio de los equipos.

4. Grupo de categorías de tensiones - conjunto de categorías de tensiones que provocan un determinado estado límite.

5. Durabilidad - propiedad de los equipos y de las tuberías (y PPU en general) de conservar el estado de funcionalidad hasta que no arribe al estado límite.

6. Apriete de los tornillos y las clavijas - carga de los equipos o de las tuberías que es provocada por el ensamble de uniones a roscas.

7. El cambio de potencia del reactor es un modo de operación, cuando se realiza el traspaso de un modo de operación estacionario del reactor al otro (a excepción de los modos del arranque y la parada).

8. Categoría de tensiones - tipo de tensiones, que se destaca por algún indicio (por la forma del diagrama; según la extensión de la zona de acción; según el tipo de carga que provoca dicha tensión, étc).

9. Criterios de estados críticos - indicio o conjunto de indicios de estado límite de los componentes, que está establecido en los documentos normativos y (o) de construcción (de proyecto).

10. Plazo de funcionamiento nombrado - duración calendaria de uso de PPU (y sus componentes), que está establecida en el proyecto, que al alcanzarse el uso posterior de los equipos o de las tuberías (y de la instalación en general) puede continuar solamente después de tomar una decisión especial, que se toma en base a los argumentos de seguridad de dicho uso.

11. Funcionamiento anormal - mal funcionamiento de PPU mediante el cual ocurrió la desviación de los límites y condiciones operacionales que están establecidos.

12. Funcionamiento normal - explotación de PPU en determinadas límites y condiciones operacionales.

13. Parada es un modo de operación, en que la temperatura y las cargas en PPU se alteran de los valores de parámetros de modos cualesquiera de operación a los valores iniciales de parámetros del siguiente modo de arranque.

14. Instalación que produce vapor - una parte de la instalación energética nuclear de la nave, de la cual forman parte el reactor, los equipos, las tuberías de primer y segundo contorno y el generador de vapor.

15. Medio ciclo de cambio de tensión - cambio monótono de la tensión del valor máximo (mínimo) al valor mínimo (máximo).

16. Estado límite - estado de los componentes al cual no se permite su explotación posterior o irrazonable o la restauración del estado de funcionalidad de los mismos es imposible o irrazonable. Al pasar los componentes al estado límite, su explotación debe suspenderse temporal o finalmente (estos de extraen del trabajo para repararlos o se dejan de usar).

17. Arranque - modo de funcionamiento, en el proceso del cual las cargas y la temperatura en PPU cambian de valores iniciales a los valores, correspondientes al modo estacionario. Durante el arranque la temperatura y las cargas externas pueden exceder los valores, correspondientes al modo estacionario.

18. estado de funcionalidad, capacidad de trabajo - estado de los componentes en el cual el valor de todos los parámetros, que caracterizan la capacidad de cumplir con las funciones preestablecidas concuerdan con los requerimientos de los documentos normativos y (o) de construcción (de proyecto).

19. Presión calculada - presión máxima excesiva que actúa en el equipo o tubería, la cual se utiliza en el cálculo de la selección de las dimensiones básicas, en la que se permite el funcionamiento de dicho equipo o tubería en las condiciones de operación rutinaria (COR).

20. Temperatura calculada - temperatura de la pared del equipo o tubería, igual al valor medio aritmético máximo de las temperaturas en sus superficies externas e internas en una sección durante la operación rutinaria de explotación de PPU con la potencia máxima.

21. Recurso - tiempo total de operación de los equipos o tuberías desde el inicio de su explotación o su reanudación después de la reparación hasta su transición al estado límite.

22. Modo estacionario - modo de explotación en el cual las cargas y la temperatura se mantienen en los límites de ±5% de los valores nominales, preestablecidos en los documentos de construcción (de proyecto).

23. Carga de impacto - carga que se caracteriza por su corto tiempo de acción (5-2000 ms).

24. Tensión elástica condicional - tensión fuera de los límites elásticos, cuyo valor se determina en correspondencia con la ley de Hooke.

25. Funcionamiento del sistema de protección por emergencia - modo de explotación en el cual tiene lugar el cambio de la temperatura y de las cargas (tanto en sentido de aumento como de disminución) de sus valores en el modo estacionario, arranque o parada hasta los valores intermediarios correspondientes.

26. Vibración de marcha de las aspas - vibración del cuerpo de la nave con una frecuencia proporcional a la frecuencia de giro del eje de la hélice en los modos a toda marcha y contramarcha.

27. Vibración de marcha de primer grado - vibración del cuerpo de la nave con una frecuencia igual a la frecuencia de giro del eje de la hélice en los modos a toda marcha y contramarcha.

28. Ciclo de cambio de tensiones - cambio de la tensión desde el valor inicial hasta el final que es igual al inicial, en el cual se alcanzan un valor máximo y uno mínimo de tensiones.

29. Condiciones operativas - condiciones establecidas por el proyecto en términos de cantidad, características, estado de funcionalidad y mantenimiento de los equipos y de las tuberías y PPU en general que son necesarios para operar sin violar los límites operativos.

30. Límites de explotación - valores de los parámetros y de las características del estado de los equipos y de las tuberías (y PPU en general), que son establecidos en el proyecto de la instalación energética nuclear para la explotación normal.

**1. DISPOSICIONES GENERALES**

**1.1. Finalidad y campo de aplicación**

1.1.1. Los códigos y normas federales "Normas de cálculo de la dureza de los componentes de los equipos y de las tuberías de las instalaciones de naves nucleares que producen vapor con reactores a presión" (en adelante - Normas) deberán aplicarse al argumentar la dureza y durabilidad de los componentes de las construcciones de los equipos y de las tuberías de PPU de naves nucleares.

1.1.2. Las normas se extienden a los componentes de 1-3 clases de seguridad según la clasificación de las Disposiciones generales para garantizar la seguridad de las instalaciones energéticas nucleares de las naves, PPU de las naves con reactores de agua a presión, que trabajan con una temperatura del caloportador no mayor de 623 K, incluyendo recipientes de presión, cuerpos de bombas, herrajes y tuberías de PPU.

1.1.3. Las normas no se extienden a los siguientes componente de PPU:

* componentes que liberan calor y ensambles;
* varillas de los sistemas de mando y protección;
* componentes de dispositivos internos del cuerpo de la instalación del reactor;
* equipos electromecánicos;
* soportes y suspensiones de los equipos y de las tuberías;
* componentes que están ubicados en las partes del cuerpo de los equipos y de las tuberías con el objetivo de estudiar sus capacidades de trabajo;
* juntas impresas y componentes no metálicos de conjuntos de sellos;

1.1.4. En las normas se establecen los principios generales de argumentación de la dureza y los requerimientos para hacer los cálculos de dureza y para determinar el recurso de los equipos y las tuberías durante la proyección, construcción y uso de las instalaciones de naves nucleares que producen vapor, y también para hacer las pruebas de resistencia a la vibración, dureza a vibración y dureza cíclica.

1.1.5. Los cálculos de dureza de los equipos y de las tuberías en las fases de construcción y explotación deberán realizarse *en* los siguientes casos:

* sale fuera de los límites de los valores que se utilizan en los cálculos en la fase de proyección, aunque se uno de los valores de las características mecánicas del material;
* se establece el cambio de las condiciones de interacción de los equipos, de las tuberías y de los soportes de montaje entre sí (calaje, selección de las holguras y otros);
* son revelados defectos, cuyas dimensiones exceden las dimensiones permitidas, que están establecidas en los documentos normativos vigentes y (o) en los documentos de construcción, tecnológicos y de explotación;
* se excede el valor que está puesto en el cálculo al proyectar, adelgazamiento de la pared de los equipos o de las tuberías a cuenta de la corrosión general o local o de la erosión;
* variaron más de un 5% de los valores que se utilizaron al proyectar, del valor de la magnitud de las cargas a los equipos y tubería durante el FN (funcionamiento normal) y (o) FA (funcionamiento anormal), o de las características de inflexibilidad de los soportes de montaje;
* se exceden los valores de proyecto, la cantidad real de modos de FN, FA o de pruebas;
* se alcanza (o excede) el valor límite permitido en los documentos de construcción de daño cíclico del metal en alguna zona de los equipos o tuberías.

1.1.6. Las metodologías de cumplimiento con los cálculos de selección de las dimensiones básicas de argumentación de la dureza y del recurso de los equipos y de las tuberías deberán ser establecidas en los documentos de las empresas que se dedican a proyectar y fabricar equipos y tuberías, que están aprobadas por el Servicio federal de inspección nuclear.

1.1.7. En las normas no están reglamentados los métodos de cálculo de fuerzas de empuje, campos de temperaturas y estado de deformación por tensiones. Dichos métodos deberán ser escogidos por las empresas que realicen los cálculos correspondientes, y a su vez los recursos de programación que se utilicen deberán ser certificados.

**1.2. Principios básicos de normas**

1.2.1. En las Normas se utilizan principios de evaluación de la dureza según los siguientes estados límites:

а) ruptura dúctil o frágil;

b)           deformación plástica por todo el corte del componente de la construcción;

c) pérdida de estabilidad;

d) surgimiento y acumulación de cambios residuales de la forma y de las dimensiones, que conllevan a que no sea posible usar el componente de la construcción;

e) surgimiento de macrogrietas durante cargas cíclicas.

El cálculo según los estados límites indicados se deben realizar utilizando características temporales de dureza, y para las piezas que se fabrican de aleaciones de titanio características largas de dureza y plasticidad de los materiales.

1.2.2. El cálculo de la dureza de los equipos y de las tuberías es necesario hacerlo en dos etapas - cálculo para seleccionar las dimensiones básicas y el cálculo de comprobación. Al evaluar la resistencia de estructuras en las fases de proyección y construcción se deben satisfacer completamente los requerimientos de cálculo para escoger las dimensiones básicas y del cálculo de comprobación. En la fase de explotación se permite no hacer el cálculo para seleccionar las dimensiones básicas.

1.2.3. Durante la realización del cálculo para seleccionar las dimensiones básicas hay que tener en cuenta la presión que se ejerce al equipo y a las tuberías (interior y exterior), y adicionalmente para los pernos y clavijas - la fuerza de apriete.

1.2.4. Como las principales características mecánicas de los materiales que se utilizan para determinar los valores de las tensiones nominales permitidas se toman el límite de resistencia (límite de resistencia a la tracción) y el límite de fluencia. Las tensiones nominales permitidas se deben establecer según las características indicadas introduciendo los coeficientes correspondiente de margen de seguridad.

1.2.5. Las magnitudes de los coeficientes de margen de seguridad se fijan partiendo de una práctica de muchos años de construcción y diseño teniendo en cuenta la experiencia en explotación de equipos y de tuberías.

1.2.6. Al escoger las dimensiones básicas se debe valorar la dureza según los siguientes estados límites: rotura viscosa, cobertura por la deformación plástica de toda la sección del componente, pérdida de la estabilidad y logro de la deformación límite.

1.2.7. El cálculo de comprobación se debe hacer para los equipos y las tuberías con las dimensiones básicas escogidas o según las dimensiones reales.

1.2.8. Durante el cálculo de comprobación se deben tener en cuenta todas las cargas que actúan en la estructura (incluyendo las cargas de los efectos térmicos) y valorar todos los modos de explotación.

1.2.9. El cálculo de comprobación incluye:

а) Cálculo a la resistencia estática

b)           cálculo a la estabilidad;

c) cálculo a la resistencia cíclica;

d) cálculo a la resistencia a la rotura frágil;

e) cálculo a resistencia al impacto;

f) cálculo a la resistencia a la vibración.

1.2.10. El cálculo a la resistencia estática se realiza con el objetivo de establecer que para todos los valores de las cargas y de las temperaturas en los modos de trabajo de PPU, que están reglamentados en el proyecto, las tensiones en el componente no exceden los valores permitidos, que están determinados según los estados límites, que están indicados en los incisos a), b) y d) del punto 1.2.1.

1.2.11. El cálculo de la estabilidad consiste en determinar las cargas permitidas, que al ser excedidas provoca la pérdida de estabilidad de los componentes de las estructuras de los equipos y de las tuberías.

1.2.12. El cálculo a resistencia cíclica se realiza con el objetivo de excluir que surjan macrogrietas en los componentes de las estructuras de los equipos y de las tuberías que se encuentran bajo la acción de cargas cíclicas. Las amplitudes de tensiones permitidas se determinan partiendo de las características de la resistencia a rotura por fatiga, que dependen en general de la temperatura, del tiempo, de los parámetros del medio de trabajo y fluencia de los neutrones, introduciendo la reserva de resistencia según el número de ciclos y las tensiones. Como resultado del cálculo a la resistencia cíclica se establecen el número de repeticiones permitidas de modos de explotación y de pruebas hidráulicas para las magnitudes preestablecidas de las cargas y del plazo de funcionamiento fijado.

1.2.13. El cálculo a la resistencia de rotura frágil se realiza mediante los métodos de mecánica de rotura. En base a dicho cálculo se ratifica la imposibilidad de romper los componentes si existe el defecto postulado (grietas) en el transcurso del plazo de funcionamiento fijado y se determinan los modos de temperatura de las pruebas hidráulicas en el transcurso del plazo de funcionamiento fijado.

1.2.14. La resistencia al impacto de los equipos y de las tuberías se valora según dos estados límites. El primero se caracteriza por alcanzar en los campos de mayor tensión de las estructuras de los equipos y tuberías la deformación plástica preestablecida, el segundo - alcanzando los desplazamientos lineales y angulares con los cuales es posible que se destruya la capacidad de trabajo de los componentes.

1.2.15. El cálculo a resistencia a la vibración se realiza con el objetivo de disminuir los parámetros de carga por vibración en los equipos y tuberías sintonizando las frecuencias de las oscilaciones propias de las frecuencias perturbadoras de la fuente de vibración. La accesibilidad de las cargas de vibración puede ser ratificada experimentalmente y (o) mediante cálculo haciendo el cálculo a la resistencia cíclica.

1.2.16. Las tensiones indicadas, en comparación con las admisibles, se deben determinar según la teoría de las tensiones tangentes máximas, a excepción del cálculo a la resistencia de rotura frágil, cuando las tensiones indicadas se determinan según la teoría de las tensiones normales máximas.

1.2.17. El cálculo de las tensiones sin tener en cuenta la concentración se debe hacer suponiendo un comportamiento lineal-elástico del material, con excepción de los casos especialmente acordados. Al hacer la evaluación de la resistencia de tras los límites de elasticidad, es necesario utilizar la tensión elástica condicional.

1.2.18. Los datos recibidos como resultado del cálculo de comprobación (tensiones, coeficientes de intensidad de las tensiones, daños cíclicos del metal, y otros) se comparan con los valores correspondientes que son permisibles.

1.2.19. En los cálculos que se realizan para seleccionar las dimensiones básicas y en los cálculos de comprobación no se debe considerar el aumento de los límites de resistencia y fluencia bajo la acción del fluído de neutrones. Al realizar los cálculos correspondientes, se debe prestar atención a la disminución de las características de plasticidad y resistencia a la destrucción frágil.

1.2.20. La acción corrosiva posible de los medios de trabajo se debe considerar tanto al seleccionar las dimensiones básicas (aumento del espesor de la pared) como al hacer el cálculo de comprobación.

1.2.21. Se permite argumentar la resistencia de los elementos de las estructuras de los equipos y tuberías mediante estudios experimentales, metodologías y programas que deben ser establecidos en los documentos de las empresas que se dedican a proyectar y fabricar los equipos y tuberías, que están aprobadas en el Servicio federal de inspección nuclear.

**2. TENSIONES NOMINALES PERMITIDAS**

2.1. La tensión nominal permitida a una temperatura *Т* calculada, se necesita determinar según el límite de resistencia y el límite de fluencia del material del componente.

2.2. El valor de la tensión nominal permitida [a] se debe tomar igual a:

■ para los elementos que se diferencian de los pernos y clavijas,



|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| donde |  |  |
|  |  | para los equipos y las tuberías, que están cargados con presión interna, y también que se fabrican de aleaciones de titanio y que están cargados con presiones internas y externas; |
|  |  | para los equipos y las tuberías que están cargados con presiones externas (excepto los que están fabricados de aleaciones de titanio); |

* en los pernos y las clavijas de presión y empuje al apretar

donde *n0,2* = 2,0.

2.3. Los valores de las características de los materiales que se utilizan para determinar las tensiones nominales permitidas, se deben según los datos que concuerdan con los documentos normativos, estándares nacionales o según las CT (condiciones técnicas) del surtido correspondiente.

2.4. Si en los documentos normativos no están dadas las característica de los materiales a las temperaturas de cálculo, y también en el caso que se apliquen en industria materiales experimentales de nuevas marcas, que están fabricados según tecnologías nuevas, los valores de cálculo de las características necesarias es necesario fijar en base a los estudios experimentales. Los valores tomados deberán ser acordados con las empresas correspondientes de gestión de los materiales.

**3. SELECCIÓN DE LAS MEDIDAS PRINCIPALES**

3.1. Durante la realización del cálculo para seleccionar las dimensiones básicas, las cargas calculadas representan la presión calculada y los esfuerzos de apriete de los pernos y clavijas. Al hacer el cálculo de las clavijas del bloque de guarnición se debe considerar la presión de las pruebas hidráulicas.

3.2. El espesor de la pared calculado es necesario determinarlo sin tener en cuenta el espesor de la capa protectora anticorrosiva calzad o revestida,

3.3. La adición total al espesor calculado de la pared del componente de la estructura se debe determinar como

*С* = *С*1 + *С*2 + *С*3.

3.4. La adición *C* se debe tomar igual a la tolerancia negativa del espesor de la pared; su magnitud debe establecerse en los documentos de ingeniería.

3.5. La adición *C*2 es tecnológica, destinada a compensar el adelgazamiento posible del componente durante la fabricación. El valor de esta adición se establece por la organización de proyectos (de diseño) en coordinación con la empresa fabricante y debe señalarse en los documentos ingenieriles.

3.6. La adición *C*3 tiene en cuenta el impacto corrosivo del ambiente laboral en el material de los componentes de la estructura en las condiciones de explotación. El valor de dicha adición se toma según los datos que concuerdan con los documentos normativos.

3.7. El espesor de la pared nominal aceptado *S* debe satisfacer la condición

*S* ≥ *SR* + *С*.

3.8. El valor del espesor calculado de la pared se debe determinar de la condición de inadmisión en

la estructura de estados límites, que están indicados en los subincisos a) - b) del punto 1.2.1, teniendo en cuenta los coeficientes de disminución de la resistencia que es provocad por los orificios o uniones de soldadura en el componente de las estructuras.

3.9. Los coeficientes de disminución de la resistencia según el punto 3.8 se deben determinar de acuerdo con las disposiciones de los documentos normativos correspondientes.

3.10. El cálculo para seleccionar las dimensiones básicas se permite hacer utilizando los medios de programación.

**4. CÁLCULO DE COMPROBACIÓN**

**4.1. Disposiciones Generales**

4.1.1. El cálculo de comprobación en la fase de proyección es necesario realizarlo después de cumplir con el cálculo de selección de las dimensiones básicas.

4.1.2. El cálculo de comprobación se debe llevar a cabo:

* según las dimensiones nominales - en la fase de proyección;
* según *las dimensiones* reales - en las fases de construcción y explotación (si es necesario hacer los cálculos según el punto 1.1.5).

4.1.3. El cálculo de comprobación se debe hacer teniendo en cuenta todos los modos de cálculo de explotación.

4.1.4. Al hacer el cálculo es necesario tener en cuenta las siguientes cargas:

* la presión interna y (o) externa;
* la carga de apriete de los pernos y clavijas;
* el peso propio del artículo y su contenido;
* cargas adicionales (peso de los artículos conectados, incluyendo el aislamiento de las tuberías, las cargas que conllevan a deformación durante la fabricación y el montaje, étc);
* esfuerzos de las reacciones y del desplazamiento de los soportes y tuberías;
* impactos de temperaturas;
* cargas vibratorias;
* los impactos de golpes, que son provocados al chocar las naves u otras situaciones durante la navegación (el zabordo de la nave, choque con piedras, icebergs, étc)

4.1.5. Los principales regímenes de cálculo son:

* régimen estacionario;
* arranque;
* apriete de pernos y clavijas;
* funcionamiento del sistema de protección de emergencia;
* cambio de la potencia del reactor;
* parada;
* pruebas hidráulicas;
* disparo de las válvulas de protección;
* funcionamiento anormal
* modo de paso de circulación natural a forzosa.

4.1.6. Al hacer el cálculo de comprobación se deben aplicar las características físico-mecánicas del metal básico, que están indicadas en los estándares nacionales, estándares de las empresas o en las CT de los materiales del surtido correspondiente.

4.1.7. En el cálculo de probación de paredes fundidas o plaqueadas, las tensiones en la pared y en la fundición se deben determinar teniendo en consideración las tensiones de temperatura, que son provocadas por la diferencia de los coeficientes de dilatación lineal del metal básico y fundición.

4.1.8. La necesidad de tener en consideración las tensiones residuales (de soldadura, aportación, montaje, étc) en secciones concretas del cálculo de comprobación se establece en los documentos normativos correspondientes.

4.2. Procedimiento para determinar las tensiones

4.2.1. Para el componente de la estructura de los equipos y tuberías que se valora en base al análisis de las condiciones de explotación, fabricación y montaje, debe establecerse la secuencia posible de alternación durante los regímenes operativos de explotación, incluyendo las condiciones de pruebas, EN (explotación normal) y EA (explotación anormal).

4.2.2. En base a la secuencia tomada de los modos de operación e intensidad de los cálculos en el planteo elástico se deben determinar los valores básicos de las tensiones sin tener en consideración la concentración y los efectos de las temperaturas. Para los momentos inicial y final de tiempo los valores de las tensiones básicas deben ser igual a cero.

4.2.3. De acuerdo con la secuencia de los modos de operación y las cargas, se debe determinar el estado de tensión del componente teniendo en consideración los efectos de las temperaturas y la concentración de las tensiones y hacer los gráficos de cambio de las tensiones elásticas convencionales indicadas en el tiempo.

4.2.4. Los requerimientos para hacer los gráficos mencionados anteriormente, uso de los coeficientes teóricos y efectivos de la concentración de las tensiones, y también para formar las categorías de las tensiones indicadas para comprobar diferentes criterios de resistencia y definición de los ciclos de cambio de las tensiones elásticas convencionales indicadas se establecen en los documentos de las empresas que se dedican a proyectar y fabricar equipos y tuberías, que están aprobados por el Servicio federal de inspección nuclear.

4.3. Cálculo a la resistencia estática

4.3.1. Al hacer el cálculo a resistencia estática es necesario tener en cuenta las cargas de cálculo, que están indicadas en el punto 4.1.4, excepto las cargas vibratorias y de impactos, todos los modos de operación que están indicados en el punto 4.1.5.

4.3.2. Las condiciones de garantía de la resistencia estática deben limitar el nivel de las tensiones que provocan:

* ruptura dúctil o frágil;
* surgimiento de fluencia plástica por todo el corte del componente de la estructura;
* aplastamiento de la superficie del componente de la estructura;
* corte;
* cambio de la forma.

4.3.3. Las condiciones de resistencia establecen limitaciones del nivel de las categorías correspondientes de las tensiones con respecto a los valores*RTр0*,2 o [σ].

4.3.4. El nivel total de las tensiones que forman parte del grupo de categorías de las tensiones que provocan el surgimiento de la deformación plástica uniforme en el corte del componente de la estructura bajo la acción de las cargas mecánicas, no debe ser mayor de:

* [σ] durante la EN (explotación normal);
* 1,2 [σ] durante la EA (explotación anormal).

4.3.5. El nivel total de las tensiones que forman parte del grupo de categorías de las tensiones que provocan el surgimiento de juntura plástica en el corte del componente de la estructura (excepto de los pernos y clavijas) bajo la acción de las cargas mecánicas, no debe ser mayor de:

* 1,3 [σ] durante la EN;
* 1,6 [σ] durante la EA.

4.3.6. Las relaciones concretas que se utilizan para comprobar la resistencia estática de diferentes grupos de categorías de tensiones se establece en los documentos normativos correspondientes.

4.4. Cálculo a la estabilidad

4.4.1. El cálculo a estabilidad se hace con respecto a la carga estática de los componentes de las estructuras de los equipos y tuberías. Durante la carga de impacto se debe regir por los requerimientos de la sección 4.7.

4.4.2. La comprobación a la estabilidad se debe hacer para los componentes de los recipientes (virolas, fondos convexos) bajo la acción conjunta o por separado de la presión exterior, que supera la interna, y de los esfuerzos de compresión.

4.4.3. Según las condiciones de resistencia se deben determinar los valores de la presión externa y de los esfuerzos de compresión.

4.4.4. Las metodologías de cálculo y las condiciones de resistencia se establecen en los documentos normativos correspondientes.

4.5. Cálculo a la resistencia cíclica

4.5.1. La definición del número permitido de ciclos según las amplitudes de las tensiones determinadas o las amplitudes de las tensiones permitidas para el número de ciclos dado se debe hacer:

1) según las curvas calculadas de fatiga, que caracterizan en los límites de su aplicación la relación entre las amplitudes de tensiones elásticas condicionales admitidas y los números de ciclos permitidos;

2) según las fórmulas, que vinculan las amplitudes de las tensiones admisibles y los números de ciclos admisibles .

4.5.2. En el cálculo es necesario tener en consideración la influencia en la resistencia cíclica de las características del material (incluyendo las uniones de soldadura), la asimetría del ciclo de las tensiones elásticas convencionales indicadas (incluso la que es provocada bajo la acción de las tensiones residuales), de la temperatura, fluencia de los neutrones, acciones del caloportador.

Al hacer el cálculo de las piezas de aleaciones de titanio se debe tener en cuenta la acción de los efectos fluencia.

4.5.3. La condición de resistencia si hay diversas cargas cíclicas debe determinarse por la acumulación de fatiga hasta la magnitud admisible.

4.5.4. En los casos, cuando las tensiones cíclicas de baja frecuencia, que son provocadas por el arranque, parada, cambio de potencia, accionamiento de protección de emergencia u otros modos, se acompañan por la superposición de las tensiones de alta frecuencia, por ejemplo causadas por vibración, ondulación de la temperatura al mezclar los flujos del caloportador con una temperatura diversa, el cálculo de la resistencia cíclica se realiza teniendo en consideración el carácter de mucha frecuencia de la carga.

4.5.5. Se permite valorar la resistencia cíclica en base a las curvas de fatiga, que se obtienen experimentalmente para las condiciones de carga consideradas y el estado del metal del diseño de la estructura, o según los resultados de las pruebas de los prototipos o sus modelos que son diseñados y fabricados de acuerdo con los requisitos exigidos a las estructuras reglamentarias.

4.5.6. Las metodologías de cálculo de resistencia cíclica, y también la determinación de cálculo experimental de las curvas de fatiga, se deben establecer en los documentos de las empresas que se dedican a proyectar y fabricar equipos y tuberías, que están aprobados por el Servicio federal de inspección nuclear.

4.6. Cálculo a la resistencia a la rotura frágil

4.6.1. El cálculo de resistencia a la rotura frágil se debe hacer para todos los modos de EN, EA y pruebas hidráulicas.

4.6.2. Las zonas en las que se puede esperar los valores más grandes de los coeficientes de intensidad de las tensiones *K*1deberán ser analizadas para calcular el defecto, o del valor mínimo de la viscosidad de ruptura *K*1C, o de relación mínima *K*1*C*/*K*1.

4.6.3. Al hacer el cálculo de los componentes que son fabricados de aleaciones de titanio se debe considerar el carácter dúctil de sus roturas, y como parámetros de resistencia utilizar *RTp*0,2 valor de abertura crítica de grieta de la aleación.

4.6.4. La selección de cálculo de defecto, de los parámetros calculados de la viscosidad de ruptura, de la temperatura crítica de bronquedad, de los valores de las tensiones residuales y el análisis posterior de la resistencia se debe hacer de acuerdo con las disposiciones que están plasmadas en los documentos de las empresas que se dedican a proyectar y fabricar equipos y tuberías, que están aprobados por el Servicio federal de inspección nuclear.

4.6.5. El cálculo a la resistencia a ruptura dúctil se permite no hacer para los componentes de las estructuras, que no se someten a irradiación (o que se someten a irradiación a temperaturas 523623 K hasta una fluencia no mayor de 1022 n/m2 con una energía de neutrones ≥ 0,5 MeV), en los siguientes casos:

1) los materiales de los componentes de estructuras (incluso las juntas soldadas) tienen un límite de fluencia a la temperatura de 293 K menos de 300 MPa, y el espesor de la pared del componente de la estructura constituye no más de 25 mm;

2) los materiales de los componentes de las estructuras (incluso las juntas soldadas) tienen un límite de fluencia a la temperatura de 293 K menos de 600 MPa, y el espesor de la pared del componente de la estructura constituye no más de 16 mm;

3) el espesor de la pared del componente de la estructura valorado satisface la condición:

|  |  |
| --- | --- |
|  | mm |

a *KT1C* en MPa$\sqrt{м}$ y *RTp0,2* en MPa (los valores de ambos parámetros se deben tomar a la menor temperatura de explotación y el estado, que corresponde al final de la explotación).

4.7. Cálculo a resistencia de impactos

4.7.1. Como base para hacer el cálculo a resistencia de impactos se tiene el requerimiento de fiabilidad de explotación de los equipos y tuberías PPU bajo las condiciones de acción de las cargas de impactos, que están indicadas en el punto 4.1.4. Los parámetros concretos de las cargas de impactos se determinan en el proyecto de PPU y (o) en la tarea técnica para hacer el diseño frágil.

4.7.2. La comprobación de la resistencia al impacto se debe hacer según las tensiones permisibles y deslizamientos permisibles.

4.7.3. Al determinar las tensiones permisibles se debe tener en cuenta:

* la influencia en el límite de fluidez dinámico de la velocidad de deformación y la temperatura de cálculo,
* la accesibilidad de la deformación plástica limitada en las zonas más cargadas del componente bajo una acción externa de corta duración;
* alta tendencia de los materiales a ruptura dúctil

4.7.4. El deslizamiento permisible se debe establecer partiendo de las condiciones de imposibilidad de choques de los equipos y tuberías valorados con las estructuras vecinas o de cuerpo, o de los daños inadmisibles.

4.7.5. El cálculos se debe hacer para los modos de EN.

4.7.6. En el cálculo de la tensión de las cargas de explotación, estas se deben sumar con las dinámicas solamente cuando las mismas superan a estas últimas en un 10% (de lo contrario las mismas pueden no tomarse en consideración).

4.7.7. La determinación de las tensiones permisibles, deslizamientos y el análisis posterior de la resistencia de los equipos y tuberías se debe hacer de acuerdo con los documentos normativos correspondientes.

4.8. Cálculo a la resistencia a la vibración

4.8.1. La evaluación de la resistencia a la vibración de los equipos y tuberías se debe realizar para las cargas de vibración, que son provocadas por el giro del eje de la hélice de la nave, y también de otras fuentes de oscilaciones forzadas, si existen.

4.8.2. Los requerimientos básicos de resistencia a la vibración deben garantizar la inexistencia de resonancia con cargas de vibración, que influyen en los equipos y tuberías en un intervalo de frecuencias que concuerda con el que está indicado en el proyecto.

4.8.3. En los casos que no se logra garantizar la inexistencia de resonancia, se permite no cumplir con los requerimientos del punto 4.8.2 con la condición de que la resistencia a la vibración es obligatoriamente ratificada experimentalmente o con cálculos, y también como resultado del análisis de las vibraciones que están registradas en el proceso de las obras puesta en marcha y (o) en la unidad que se explota.

4.8.4. El cálculo de resistencia a la vibración de los equipos y las tuberías se debe hacer en conformidad con las metodologías que están indicadas en los documentos normativos correspondientes.

4.8.5. Los requerimientos generales de la evaluación experimental de la resistencia a la vibración están indicados en la sección 5.

4.8.6. La evaluación calculada de la resistencia a la vibración se recomienda hacer teniendo en cuenta los requerimientos del punto 4.5.4.

**5. EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE LA ESTABILIDAD A LA VIBRACIÓN Y RESISTENCIA A LA VIBRACIÓN**

5.1. Las pruebas para localizar las resonancias se deben hacer en los casos que están indicados en el punto 4.8.3 con el objetivo de revelar las frecuencias propias de las oscilaciones de los equipos y tuberías en el proyecto establecido y (o) en la tarea técnica para hacer el cálculo de resistencia en el intervalo de frecuencias.

5.2. Las pruebas de estabilidad a vibración es necesario hacerlas para comprobar la capacidad de los equipos y de las tuberías de cumplir con sus funciones y mantener los parámetros durante la acción de la vibración en los límites que están indicados en el proyecto y (o) en la tarea técnica para hacer el cálculo de la resistencia.

5.3. Las pruebas de resistencia a vibración se hacen para comprobar la capacidad de los equipos y de las tuberías de oponerse a la acción destructiva de la vibración, de cumplir con sus funciones y mantener los parámetros después de la acción de la vibración en los límites que están indicados en el proyecto.

5.4. Las metodologías de las pruebas que se hacen según los puntos 5.1 - 5.3, incluyendo los requerimientos para preparar los equipos para las pruebas, el orden de realización de las pruebas y la evaluación de sus resultados se establecen en los documentos normativos correspondientes.

**6. PRUEBAS DE LAS MUESTRAS MODELADAS Y DE LOS COMPONENTES DE ESTRUCTURAS PROTOTÍPICAS A RESISTENCIA CÍCLICA**

6.1. Los parámetros fijados en las pruebas de resistencia cíclica se deben usar:

* para argumentar la resistencia cíclica de los componentes de las estructuras de los equipos y tuberías determinando los coeficientes de reserva según las amplitudes de las tensiones elásticas convencionales y según el número de ciclos;
* para determinar los coeficientes efectivos de concentración a cargas cíclicas.

6.2. Los requerimientos de la estructura, materiales, tecnología de fabricación, control de las muestras de modelos y de los componentes de las estructuras reales, y también de las condiciones del orden de hacer las pruebas y de las metodologías para determinar los coeficientes efectivos de la concentración de las tensiones se fijan en los documentos normativos correspondientes.