

Сәулет, қала құрылысы және құрылыс
саласындағы мемлекеттік нормативтер
ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ
НОРМАТИВТІК–ТЕХНИКАЛЫҚ ҚҰРАЛЫ

Государственные нормативы в области
архитектуры, градостроительства и строительства
НОРМАТИВНО–ТЕХНИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

БОЛАТ КОНСТРУКЦИЯЛАРДЫ ЖОБАЛАУ. БОЛАТ РЕЗЕРВУАРЛАР БӨЛІМІ

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ. ЧАСТЬ. СТАЛЬНЫЕ РЕЗЕРВУАРЫ

ҚР НТҚ 03-04-2.1-2012
(ҚР ҚН EN 1993-4-2:2007/2011 әзірленген)
НТП РК 03-04-2.1-2012
(к СН РК EN 1993-4-2:2007/2011)

Ресми басылым
Издание официальное

Қазақстан Республикасы Өнеркәсіп және құрылыс министрлігінің Құрылыс
және тұрғын үй-коммуналдық шаруашылық істері комитеті

Комитет по делам строительства и жилищно-коммунального хозяйства
Министерства промышленности и строительства Республики Казахстан

Астана 2025

АЛҒЫ СӨЗ

- 1. ӘЗІРЛЕГЕН:** «ҚазҚСҒЗИ» АҚ, «Астана Строй-Консалтинг» ЖШС
- 2. ҰСЫНҒАН:** Қазақстан Республикасы Ұлттық экономика министрлігінің Құрылыс, тұрғын үй-коммуналдық шаруашылық істері және жер ресурстарын басқару комитетінің Техникалық реттеу және нормалау басқармасы
- 3. БЕКІТІЛІП, ҚОЛДАНЫСҚА ЕНГІЗІЛДІ:** Қазақстан Республикасы Ұлттық экономика министрлігінің Құрылыс, тұрғын үй-коммуналдық шаруашылық істері және жер ресурстарын басқару комитетінің 2014 жылғы 29 желтоқсандағы № 156-НҚ бұйрығымен 2015 жылғы 1шілдеден бастап
- 4. ЕНГІЗІЛДІ:** Алғаш рет

ПРЕДИСЛОВИЕ

- 1. ПОДГОТОВЛЕН:** АО «КазНИИСА», ТОО «Астана Строй-Консалтинг»
- 2. ПРЕДСТАВЛЕН:** Управлением технического регулирования и нормирования Комитета по делам строительства, жилищно-коммунального хозяйства и управления земельными ресурсами Министерства национальной экономики Республики Казахстан
- 3. ПРИНЯТ И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ:** Приказом Комитета по делам строительства, жилищно-коммунального хозяйства и управления земельными ресурсами Министерства Национальной экономики Республики Казахстан от 29.12.2014 № 156-НҚ с 1 июля 2015 года
- 4. ВВЕДЕН:** Впервые

Осы мемлекеттік нормативті Қазақстан Республикасының сәулет, қала құрылысы және құрылыс істері жөніндегі уәкілетті мемлекеттік органының рұқсатынсыз ресми басылым ретінде толық немесе ішінара қайта басуға, көбейтуге және таратуға болмайды.

Қазақстан Республикасы Өнеркәсіп және құрылыс министрлігі Құрылыс және тұрғын үй-коммуналдық шаруашылық істері комитетінің 12.08.2025 жылғы №117-НҚ бұйрығына сәйкес өзгерістер енгізілді.

Настоящий государственный норматив не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения уполномоченного государственного органа по делам архитектуры, градостроительства и строительства Республики Казахстан.

Внесены изменения в соответствии с приказом Комитета по делам строительства и жилищно-коммунального хозяйства Министерства промышленности и строительства Республики Казахстан от 12.08.2025 года №117-НҚ.

МАЗМҰНЫ

КІРІСПЕ	VII
1 ЖАЛПЫ ЕРЕЖЕЛЕР	1
1.1 Қолдану саласы	1
1.2 Нормативті құжаттарға сілтемелер	2
1.3 Негізгі жағдайлар	3
1.4 Қағидалар мен қолдану ережелер арасындағы айырмашылықтар	4
1.5 Терминдер мен анықтамалар	4
1.6 Шартты белгілер	6
1.6.1 Латын әліппесінің жазба әріптері	6
1.6.2 Латын әліпбиінің кіші әріптері	7
1.6.3 Грек әліпбиінің әріптері	7
1.6.4 Жолма-жол әріпсандар (индекстер)	8
1.7 Белгілердің ережелері және шартты белгілері	8
1.7.1 Домалақ резервуарларға арналған резервуар координаттарының ортақ жүйесі үшін қабылданған ережелер	9
1.7.2 Тіктөртбұрыштың резервуарларына арналған координаттардың ортақ жүйесі үшін қабылданған ережелер	10
1.7.3 Домалақ және тіктөртбұрышты резервуардың құрылымдық элементтер координаттарының жергілікті жүйесі үшін қабылданған ережелер	11
1.7.4 Басты кернеулер (дөңгелек және тікбұрышты резервуарлар үшін) үшін қабылданған ережелер (келісімдер)	12
1.8 Өлшем бірлігі	14
2 ЖОБАЛАУ НЕГІЗДЕРІ	15
2.1 Негізгі қойылатын міндеттер	15
2.2 Сенімділік деңгейі	15
2.3 Шектік жай-күйлер	16
2.4 Қоршаған ортаға ықпалы мен әсері	16
2.5 Материалдардың сипаттамалары	16
2.6 Геометриялық параметрлер	16
2.7 Модельдеу (есеп схемалары) және резервуарды есептеу	16
2.8 Сынақ негізінде жобалау	17
2.9 Шектік жағдайдарды тексеру кезінде ықпал етуді (жүктемелерді) ескеру	17
2.9.1 Жалпы ережелер	17
2.9.2 Беріктік бойынша шектік жай-күйлер үшін сенімділіктің жеке коэффициенттері	17
2.9.3 Эксплуатациялық сенімділік (жарамдылық) бойынша шектік жағдайлар	19
2.10 Ықпал етулердің (жүктемелердің) амалдары	19
2.11 Ұзақмерзімділігі	20
3 МАТЕРИАЛДАРДЫҢ СИПАТТАМАСЫ	21
3.1 Жалпы ережелер	21

3.2	Конструкциялық болаттар	21
3.3	Қысым астында жұмыстайтын резервуарлар (сыйымды ыдыс) үшін қолданылатын болаттар	21
3.4	Тот баспайтын болаттар	22
3.5	Соққы тұтқырлығы бойынша талаптар	22
3.5.1	Жалпы ережелер	22
3.5.2	Металлдың минималды жобалық температурасы	22
4	КОНСТРУКЦИЯНЫ ЕСЕПТЕУ НЕГІЗДЕРІ	24
4.1	Салмақ көтеру қабілеттігінің шектік жағдайы	24
4.1.1	Негізгі ережелер	24
4.1.2	Иілгіш элементтердің есептерде қолданылатын жуандығы	24
4.1.3	Коррозияның әсері	24
4.1.4	Шаршау	24
4.1.5	Температуралық әсерлерді ескеру	24
4.2	Резервуар жобасындағы домалақтың қабығын есептеу	25
4.2.1	Қабықты модельдеу	25
4.2.2	Есептеу әдістері	25
4.2.3	Геометрикалық кемшіліктерді ескеру	27
4.3	Тікбұрышты резервуардың қорабтық конструкциясын есептеу	28
4.3.1	Қорабтық конструкцияны модельдеу	28
4.3.2	Геометрикалық кемшіліктерді ескеру	29
4.3.3	Есептеу әдістері	29
4.4	Гофрирленген беттен жасалған қаптаманың эквивалентті ортотропты қасиеттері ..	29
5	ЦИЛИНДР ҚАБЫҚТАРДЫ ЖОБАЛАУ	30
5.1	Негізгі ережелер	30
5.1.1	Жалпы ережелер	30
5.1.2	Қабырғаны құраудың негізгі принциптері	30
5.2	Цилиндр қабықтар түрлері	30
5.3	Резервуар қабырғасының салмақ көтеру қабілеттігі	31
1	МЫСАЛ Цилиндр резервуардың изотропты қабырғасын есептеу	31
5.4	Тіреулер мен қуыстар	73
5.4.1	Юбкасына тірелген қабықша	73
5.4.2	Жартылай қабырғаға жалғасқан ұстындарға тірелген цилиндрлік қабықша ...	73
5.4.3	Жеке орналасқан тіректерге тірелген цилиндрлік қабықша	73
5.4.4	Воронка астында орналасқан жеке тұрған ұстындарға тірелген резервуар	73
5.4.5	Жүктемені цилиндрлік қабырғаларға жергілікті берілуі	73
5.4.6	Резервуардың қабырғаларындағы қуыстар	74
2	МЫСАЛ Резервуар қабырғасындағы қуыстар мен ойықтарды күшейту	77
5.4.7	Сұйыққойманың анкерлі бекітілуі	85
5.5	Пайдалану жарамдылығының шекаралық күйі	86
5.5.1	Негізгі ережелер	86
6	КОНУС ІШІНДІ ШҰҢҒЫМАЛАРДЫ ЖОСПАРЛАУ	87

7 ДӨҢГЕЛЕК ҚАҚПАҚТАРДЫ ЖОСПАРЛАУ	88
7.1 Негізгі күйі	88
7.1.1 Негізгі ережелер.....	88
7.1.2 Қақпақты жобалау	88
7.2 Қақпақтың құрылымды шешімі	88
7.3 Дөңгелек шатырға қойылатын талап	89
7.4 Шатырдың әртүрлі түрлерін жобалаудың ерекшелігі	89
7.4.1 Шатырдың тірексіз құрылымдары	89
7.4.2 Конустық немесе купол тәрізді қаңқалы шатырлар	89
7.4.3 Қабырға-шатыр торабы (карнизды торап)	90
7.5 Пайдаланушылық жарамдылық жөніндегі шекті жағдай	90
8 «ТҮП-ҚАБЫРҒА» ҚИЙЛЫСУ ТОРАПТАРЫ (КЕРТІКТІ ТОРАП) ЖӘНЕ ТІРЕК САҚИНАЛЫ АРҚАЛЫҚТЫҢ ТОРАПТАРЫН ЖОБАЛАУ	91
9 ТІК БҰРЫШТЫ ЖӘНЕ ТЕГІС РЕЗЕРВУАРЛАРДЫ ЖОБАЛАУ	92
9.1 Негізгі ереже	92
9.2 Резервуарлар түрлері	92
9.2.1 Қатты емес резервуарлар	92
9.2.2 Қатты резервуарлар.....	92
9.2.3 Ілмелі резервуарлар (tanks with ties).....	92
9.3 Тік қабырғалардың беріктігі	93
9.3.1 Жекелеген қатты емес плиталарды жобалау	93
9.3.2 Жекелеген қатты плиталарды жобалау.....	93
9.3.3 Сақталатын сұйықтық пен артық қысымның тікелей әсерінен жалпы иілуді есепке алу	94
9.3.4 Көлденең жүктемедегі мембраналық кернеу	94
9.3.5 Жабдық немесе құбырдың жергілікті иілушілік әсері	94
9.4 Пайдаланушылық жарамдылық бойынша шекті жағдай	94
10 ЖОБАЛАУ КЕЗІНДЕГІ ДАЙЫНДАУ ЖӘНЕ МОНТАЖДАУ ТАЛАПТАРЫН ЕСЕПКЕ АЛУ	95
11 ЖОБАЛАУҒА ОҢТАЙЛАНДЫРЫЛҒАН ТӘСІЛ.....	96
11.1 Жалпы ереже	96
11.2 Стационарлы қақпақтың құрылымы	97
11.2.1 Түйісетін немесе осылатын дәнекерлеу жіктерімен бекітілмеген қаптама (екі жағынан).....	97
11.2.2 Қаңқалы көтеруші құрылымы бар шатыр	98
11.2.3 Бағандар қолдайтын шатыр	101
3 МЫСАЛ Сфералық шатырдың радиалды арқалықтары мен орталық сақинаның есебі	101
11.2.4 Байланыстар	108
11.2.5 Карнизді түйіннің тірексіз сақинасы	109
11.3 Қабықшаны жобалау	110
11.3.1 Қабықша.....	110

4	МЫСАЛ Оңайлатылған тәсілді пайдалана отырып резервуар қабырғасының қалыңдығын анықтау.....	110
11.3.2	Қатаңдықтың сақина қабырғалары.....	117
11.3.3	Тесіктер және ойықтар	121
11.4	Түбін жобалау.....	121
5	МЫСАЛ Параллель тіректерге дискретті тірелу кезіндегі түбін есептеу	123
11.5	Резервуардың анкерлі бекітілуі	131
А	ҚОСЫМШАСЫ (міндетті) Резервуарларға ықпал ету	131
A.1	Жалпы ережелер.....	131
A.2	Ықпал ету және жүктеме	131
A.2.1	Сұйықтықтанжүктеме (гидростатикалық жүктеме)	131
A.2.2	Ішкі қысымнан жүктеме	131
A.2.3	Температуралық әсер ету	131
A.2.4	Өзіндік салмақтың жүктемелері.....	131
A.2.5	Оқшауланудан түсетін жүктеме.....	131
A.2.6	Таратылған уақытша жүктеме.....	131
A.2.7	Шоғырланған уақытша жүктеме.....	131
A.2.8	Қар жүктемесі	132
A.2.9	Жел жүктемесі.....	133
A.2.10	Вакуум.....	133
A.2.11	Сейсмикалық жүктеме	133
A.2.12	Жабдық пен жауын-шашыннан түсетін жүктеме	133
A.2.13	Жауын-шашынның тең болмауы нәтижесіндегі жүктеме	133
A.2.14	Апаттық жүктемелер.....	134

КІРІСПЕ

Осы нормативті-техникалық құралды «Астана Құрылыс-Консалтинг» ЖШС-і «Қазақ құрылыс және сәулет ғылыми-зерттеу және жобалау институты» Акционерлік қоғамымен («ҚазҚСҒЗИ» АҚ) жасаған келісімшарт бойынша дайындаған.

Осы нормативтік-техникалық құрал ҚР ҚН EN 1993-4-2 «Болат құрылымдарды жобалау - 4-2 бөлімі: Резервуарлар» ережелерін дамыту мақсатында жасалды және сұйықтықтарды сақтау үшін дөңгелек және тікбұрышты болат резервуарларды жобалауға арналған.

Осы нормативтік-техникалық құрал 3 Еврокодқа сәйкес Қазақстан Республикасының ҚР ҚН EN 1993 құрылыс нормаларының нормативтік-техникалық құралдар тобының бөлімі болып табылады.

ҚР ҚН EN 1993 нормативтік-техникалық құралдар тобы – ҚР ҚН EN 1993 жобалау Қағидалары мен Ережелеріне сәйкес болат құрылымдарын есептеу мен құруға арналған кеңестерді; нормативтік сілтеме ақпаратты түсіндіруді; есептеудің сандық мысалдары; қосымша ақпараттық ақпаратты қамтитын нормативтік-техникалық құжаттар тізбесі.

ҚР ҚН EN 1993 нормативтік-техникалық құралдардың ережелері болат құрылымдардың көтергіш қабілетіне, қолдану жарамдылығына, ұзақмерзімділігі мен отқа төзімділігіне қойылатын талаптарды ғана қамтиды. Өзге талаптар ҚР ҚН EN 1993 нормативтік-техникалық құралдарында көрсетілмеген.

ҚР ҚН EN 1993 нормативтік-техникалық құралдарды төмендегі нормативтік-техникалық құжаттармен бірлесе пайдаланған жөн:

- ҚР ҚН EN 1990 НТЕ;
- ҚР ҚН EN 1991 НТЕ;
- ҚР ҚН EN 1992 - ҚР ҚН EN 1999 НТЕ, болат құрылымдарды және олардың элементтерін есептеуге тікелей қатысты бөлімдері;
- EN, ETAG, ETA стандарттары және өзге де болат құрылымдарына қатысты құрылыс бұйымдарына тиісті стандарттар.

ҚР ҚН EN 1993 нормативтік-техникалық құралдарын әзірлеу барысында «Болат құрылымдарды жобалау» ҚР ҚН EN 1993 20 бөлімінен өзге ҚР ҚН EN 1990, ҚР ҚН EN 1991 және EN 1090 құжаттары негізге алынды.

ҚР ҚН EN 1993 тобы 19 құралдан тұрады:

- ҚР ҚН EN 1993-1 нормативтік-техникалық құралы (12 құрал);
- ҚР ҚН EN 1993-2 нормативтік-техникалық құралы (1 құрал);
- ҚР ҚН EN 1993-3 нормативтік-техникалық құралы (1 құрал);
- ҚР ҚН EN 1993-4 нормативтік-техникалық құралы (3 құрал);
- ҚР ҚН EN 1993-5 нормативтік-техникалық құралы (1 құрал);
- ҚР ҚН EN 1993-6 нормативтік-техникалық құралы (1 құрал).

ҚР ҚН EN 1993-1 нормативтік-техникалық құралдарда арнайы болат ғимараттары мен құрылымдарға қатысы бар ҚР ҚН EN 1993 бөлімдеріне қолданылатын болат құрылымдарды жобалаудың нұсқаулары келтірілген:

- ҚР ҚН EN 1993-2;

- ҚР ҚН EN 1993-3;
- ҚР ҚН EN 1993-4;
- ҚР ҚН EN 1993-5;
- ҚР ҚН EN 1993-6.

Осы ҚР ҚН EN 1993-4-2 нормативтік-техникалық құралда приведены:

- ҚР ҚН EN 1993-4-2 көрсетілген дөңгелек және тікбұрышты резервуарларды жобалаудың Қағидалары мен Ережелері;

- ҚР ҚН EN 1993-4-2 көрсетілген жобалаудың Қағидалары мен Ережелерін дамытатын ережелер;

- ҚР ҚН EN 1993-4-2 көрсетілген жобалаудың Қағидалары мен Ережелерін толықтыратын кеңестер;

- жобалау тәжірибесінде ҚР ҚН EN 1993-4-2 ережелерін қолдануды бейнелейтін есептеудің сандық мысалдары келтірілген.

Осы нормативтік-техникалық құралды әзірлеген кезде ҚР ҚН EN 1993-4-2 ережелерінен өзге келесілер де ескерілді:

- ҚР ҚН EN 1993-4-2 Ұлттық Қосымшаның ережелері;
- ҚР ҚН EN 1990 тиісті ережелері;
- ҚР ҚН EN 1991 тиісті ережелері.

Осы нормативтік-техникалық құрал 14 бөлімнен тұрады. Осы нормативтік-техникалық құралдың 1-14 бөлімдері ҚР ҚН EN 1993-4-2 нормативтің құрылымын қайталайды. Осы нормативтік-техникалық құралдағы ҚР ҚН EN 1993-4-2 тармақтарының номерлері жақшада көрсетілген.

Осы нормативтік-техникалық құрал жобалау ұйымдарының инженерлік-техникалық қызметкерлеріне, ғылыми қызметкерлерге, жобалық өнімге тапсырыс берушілерге, жоғары оқу орындарының оқытушылары мен студенттеріне арналған.

**ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ НОРМАТИВТІК-ТЕХНИКАЛЫҚ ҚҰРАЛЫ
НОРМАТИВНО - ТЕХНИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН**

БӨЛІМ. БОЛАТ РЕЗЕРВУАРЛАР

ЧАСТЬ. СТАЛЬНЫЕ РЕЗЕРВУАРЫ

Енгізу күні – 2015.01.01

1 ЖАЛПЫ ЕРЕЖЕЛЕР

1.1 Қолдану саласы

1.1.1 Осы ҚР ҚН EN 1993-4-2:2007 құрал төмендегі сипаттамадағы сұйықтықтарды сақтауға арналған тік цилиндрлік жер үсті болат резервуарлар құрылымдарды жобалаудың негізгі қағидалары мен ережелеріне есептеудің қажетті түсіндірмелер мен мысалдарын қамтиды:

а) сұйықтық деңгейінен жоғары ішкі (артық) қысымның сипаттамалық мәні 100...500 мбар көлемінде

б) резервуар металлының рұқсат берілген жобалық температурасы 50°C до +300°C шегінде. Аустенитті тотықпайтын болатты пайдаланған кезде резервуар металлының жобалық температурасының -165°C до +300°C шегінде болуы рұқсат етілген. Босаңсу жүктемесі болған жағдайда резервуар металлының температурасы 150°C аспауы тиіс;

в) құюдың (сұйықтықтың деңгейі) ең үлкен жобалық деңгейі цилиндрлік бөлігінің (қабырға) деңгейінен аспауы тиіс.

1.1.2 Осы құралда, сондай ақ 4-2 ҚР ҚН EN 1993 тиісті бөлімінде болат резервуарлардың құрылымы резервуар құрылымының беріктігі мен тұрақтылығын қамтамасыз ету мақсатында ғана қарастырылады. Жобалау бойынша қосымша талаптар қойылады:

- қоршаған орта температурасында қолданылатын резервуарлар үшін – EN 14015;
- криогенді резервуарлар үшін – EN 14620.

Қарастырылып жатқан резервуарлар түрлерін жасау және жөндеу мәселелері EN 1090 келтіріген.

Жоғарыда көрсетілген құжаттарда негіздер мен фундаменттерге (оның ішінде шөгу бойынша талаптар) қойылатын талаптар, жөндеу мен сынау талаптары, резервуарларға қызметтік (қолдану) жалпы талаптары, сондай ақ резервуарлардың люк, фланцтар және құятын құрылғылар секілді технологиялық элементтер көрсетіледі.

1.1.3 Сейсмикаға төзімді резервуарларды жобалау үшін 3 Еврокод осы саладағы талаптарды толықтыратын EN 1998-4 (8 Еврокод 4 бөлім «Сейсмикаға төзімді құрылғылардың құрылымдары: силос мұнаралары, резервуарлар мен құбырлар») келтірілген қосымша талаптарды ескеру қажет.

1.1.4 Тіреуші құрылымдарды жобалау кезінде EN 1993-1-1 талаптарын қосымша ескеру керек.

1.1.5 Болат резервуарлар шатырларының алюминий құрылымдарын жобалау кезінде EN 1993-1-1 талаптарын қосымша ескеру керек.

1.1.6 Болат резервуарлар үшін темірбетонды фундаментті жобалауды EN 1992 және EN 1997 келтіріген талаптарды ескере отырып, орындау қажет.

1.1.7 Болат резервуарларға ерекше жүктемелердің сандық мәндерін ҚР ҚН EN 1991-4 «Силостар мен резервуарларға жүктемелер» келтірілген талаптарға сәйкес қабылдану керек. Резервуарға жүктемені жинаған кезде ескерілуге тиіс қосымша талаптар А қосымшасында көрсетілген.

1.1.8 Осы құралда:

– қалқымалы шатырлар мен понтондар;

– EN 1993-1-2 көрсетілген отқа төзімділік мәселелері берілмейді.

1.1.9 ҚР ҚН EN 19993-4-2 қарастырылатын жоспарда дөңгелек резервуарлар осьтік симметриялы құрылымдармен шектеледі. Алайда көрсетілген қағидалар мен ережелер симметриялы емес жүктемелерді ескеру үшін және симметриялы емес сүйенуде (симметриялы емес тірек бекітулерде) қолданылуы мүмкін.

1.2 Нормативті құжаттарға сілтемелер

Осы ҚР ҚН EN 1993-4-2:2007 құрал ішінде басқа стандарттан алынған датасымен немесе датасыз ережелер, сілтемелер кіреді. Осы нормативтік сілтемелер мәтінде төмендегі стандарттың көрсетілген басылымдарына лайықты жерлерде дәйексөз келтіреді. Түзетудің немесе толықтырулардың енгізуінің жолымен қосылған жағдайда, егер есілтеме даталанса, онда кейінгі өзгерістер немесе басылымның өзгерілген редакциясына ғана қолданылған. Даталанбаған сілтемелерге жария басылымның соңғы редакциясы жатады.

ҚР ҚН EN 1090-2 «Болат конструкцияларын жобалау»;

ҚР ҚН EN 1990 Еврокод: Жобалау негізі;

Бөлім 1.1 Конструкцияларға әсер ету. Мезгілдік жүктері және меншікті көлемінен пайда болатын құнарлы ғимараттарға түсетін әсерлер;

Бөлім 1.2 Конструкцияларға әсер ету. Оттан қорғалмаған конструкцияларға әсерлер;

Бөлім 1.3 Конструкцияларға әсер ету. Қар түсетін жүктемелер;

Бөлім 1.4 Конструкцияларға әсер ету. Жел түсетін жүктемелер;

Бөлім 4 Бункерлер мен резервуарларға түсетін әсерлер;

ҚР ҚН EN 1992, Еврокод 2: Темір бетонды конструкциялады жобалау;

ҚР ҚН EN 1993, Еврокод 3: Болат конструкцияларын жобалау;

Бөлім 1.1 Ғимараттар үшін ережелер және жалпы ережелер;

Бөлім 1.3 Суық қалыптасу және қабықшаның жіңішке калибрленген элементтері;

Бөлім 1.4 Тот баспайтын болаттар;
Бөлім 1.6 Қабықша конструкциялардың беріктігі және тұрақтылығы;
Бөлім 1.7 Көлденең жүкпен дәнекерленген беттерден жасалған планарлы конструкциялар;
Бөлім 1.10 Прокат қалыңдығының бағыты бойынша қасиеті және екпінді тұтқырлығының есебімен болатты таңдау;
Бөлім 4.1 Бункерлер;
ҚР ҚН EN 1997 Еурокод 7: Геотехникалық жобалау;
ҚР ҚН EN 1998 Еурокод 8: Сейсмостұрақты конструкциялардың жобалау бойынша жағдайы;
Бөлім 4 Бункерлер, резервуарлар және құбырлар;
ҚР ҚН EN 1999, Еурокод 9: Алюмин конструкцияларын жобалау;
Бөлім 1.5: Қабықшалар;
ҚР ҚН EN 10025 «Қоспаланбаған болаттардан ыстықтай тегістелген бұйымдар-өнеркәсіптік жеткізу шарттары»;
ҚР ҚН EN 10028 Қысым астындағы жұмыстар үшін жазық болат бұйымдар;
ҚР ҚН EN 10088 Тот болмайтын болаттар;
ҚР ҚН EN 10149 «Суықтай қалыптау үшін аққыштықтың жоғары шегімен болаттардан ыстықтай тегістелген жазық бұйымдар»;
Бөлім 1 Жеткізілімнің жалпы шарттары;
Бөлім 2 Термомеханикалық прокатты болаттар үшін жеткізілім шарттары;
Бөлім 3 Нормаланған немесе нормаланбаған прокатты болаттар үшін жеткізілім шарттары;
ҚР ҚН EN 13084 еркін тұратын түтін құбырлар;
Бөлім 7 Болатты қабықша және бір қабырғалы болатты түтін құбырлардағы домалақ болатты бұйымдар;
ҚР ҚН EN 14015 Қоршаған ортаның температурасында сұйықтықтарды сақтау үшін пісірілген, металлды резервуарлар, жердің деңгейінен жоғары, жазық түбі бар цилиндр, вертикальді құрастырылған өндіріс және жобалау спецификациясы;
ҚР ҚН EN 14620 - 5°мен - 165 °на дейін жұмыс температурасында жанған, суытылған сұйықтарды сақтау үшін болатты резервуарларды, жазық түбі бар цилиндр, вертикальді құрастырылған өндіріс және жобалау;
ISO 1000 «ӨЖ бірліктері»;
ISO 3898 «Құрылымдарды жобалау негіздері. Шартты белгілер. Жалпы символдар»;
ISO 8930 «Құрылымдардың сенімділігінің жалпы қағидалары. Баламалы терминдер тізімі».

1.3 Негізгі жағдайлар

1.3.1 EN 1990 –да көрсетілген жалпы жағдайларға қосымша, осы құжатта келесі негізгі жағдайлар қолданылады (рұқсаттар):

- дайындау және салу EN 1090, EN 14015 және 14620 негізіне сәйкес орындалады.

1.4 Қағидалар мен қолдану ережелер арасындағы айырмашылықтар

ҚР ҚН EN 1990 1.4 Тармағын қар.

1.5 Терминдер мен анықтамалар

Осы ҚР ҚН EN 1993-4-2:2007 құралда қолданылатын, негізгі терминдер келтірілген. осы терминдер ISO 8930 көрсетілген Құрылыс Еурокодында жалпы қолдану үшін EN 1990 1.5 Тармағында келтірілген терминдер мен анықтамаларға сәйкес келеді. Егер осы ҚР ҚН EN 1993-4-2 және EN 1990 және ISO 8930 құралдарда келтірілген терминдер түсіндірмесінің айырмашылығы бар болса, ҚР ҚН EN 1993-4-2 келтірілген анықтама түсіндірмесін қолдану қажет.

1.5.1 Қаптама (shell): Иілген жіңішке парақтан жасалған құрылым. Жоспарда тікбұрышты резервуарлардың «қаптамасы» термині «қорапты» білдіреді (3.1.3 тармағын қ.).

1.5.2 Осьтік симметриялық қаптама (axisymmetric shell): Орталық ось маңындағы меридиональ қалыптастырушының қозғалысы арқылы қалыптасатын беттің қаптамасы, геометриясы.

1.5.3 Қорап (box): Қорап - жеке жазық парақтардан құралған жабық үшөлшемді пішін (құрылым). ҚР ҚН EN 1993-4-2 бойынша қораптың ұзындығы, ені және биіктігі бойынша сәйкес өлшемдері бар.

1.5.4 Меридиональді бағыт (meridional direction): Резервуар осі арқылы өтетін жазықтықта орналасқан резервуар қаптамасы бетінің нүктелеріне қабысушының бағыты (ҚР ҚН EN 1993-4-2 тік жазықтық – 3.1.8 тармағын қ.). Басқаша айтқанда, қаптама бетіндегі жаңбыр тамшысы астыға құйылатын тік немесе көлбеу бағыт

1.5.5 Дөңгелектенген (шиғыршық) бағыт (circumferential direction): Резервуар қабырғасының кез келген нүктесіне жаңасушы көлденең жазықтықта орналасқан бағыт. Ол резервуар периметрі бойынша өзгереді және дөңгелек немесе тікбұрышты пішіндеріне қарамастан резервуардың маңындағы нүктелерге жаңасушының бағытына сәйкес болады.

1.5.6 Орталық беті (middle surface): Термин екі жағдайда қолданылады: (1) таза иілу жағдайындағы қаптама жұмысында жүктелмеген орталық бетті суреттеген кезде және (2) қорапты құратын жазық пластинанының (парақтың) орталық бетін суреттеген кезде.

1.5.7 Қаттылық қабырғаларының қадамы (separation of stiffeners): Қаттылықтың бір біріне жақын орналасқан екі параллель қабырғаларының ара қашықтығы.

1.5.8 Резервуар (tank): Резервуар – сұйық өнімді сақтауға арналған бак. Осы құралда және тиісті стандарттарда резервуар тік осі бар призмалы пішінді (жоғарғы және төменгі бөліктері – түбі мен шатырын қоспағанда) болып келеді.

1.5.9 Қабырға (қаптама) (shell): Қаптама – сызбанұсқада дөңгелек ретінде көрсетілетін резервуардың цилиндрлік қабырғасы. «қабырға» терминімен қатар «цилиндрлік қабырға» термині де қолданылуы мүмкін.

1.5.10 Резервуар қабырғасы (tank wall): Осы құралды тік қабырғаны, шатыр мен воронканы құратын метал парақ элементтер резервуар қабырғасы деп аталады. Бұл термин тік қабырғамен ғана шектелмейді.

1.5.11 Белдік (резервуар қабырғаларының) (course): Резервуардың цилиндрлік қабырғасы көлденең жазықтықтардағы қысқа цилиндрлік бөлікшелердің бірігуі арқылы құралады. Бұндай бөліктің әр біреуі жеке иілген парақ элементтерін тік құрамалармен (тігістермен) біріктіру арқылы құралады. «Белдік» термині тек қана тік тоғысқан жері бар қысқа цилиндрлік бөлікті білдіреді.

1.5.12 Құйғыш (hopper): Бұл резервуардың астыға қарай тарылатын бөлігі. Жүк күшімен түсіру тесігіне құйылатын сұйықтық бағытына қолданылады

1.5.13 Торап (junction): Торап – қаптаманың екі немесе одан да көп бөліктерінің немесе призматикалық бөліктің жазық элементтерінің қосылу аумағы (аймағы). Торап сондай ақ қаттылықтың қабырғаларын да қамтуы мүмкін. Мысалы, қаттылықтың шиғыршық қабырғасының қаптамаға немесе қорапқа бірігуі торап ретінде қарастырылады.

1.5.14 Жаңасу торабы (transition junction): Жаңасу торабы – құйғыш пен бункер тік бөлігінің бірігу торабы. Бұл торап тік бөліктің негізінде немесе сәл төмен орналасуы мүмкін.

1.5.15 Қабарға-шатыр торабы (shell-roof junction): Бұл ұғым резервуар тік қабырғасы мен шатырдың жаңасу торабына жатады. Кейде оны карнизды торап деп те атайды. Алайда бұл анықтама көбіне қатты өнімдерді сақтайтындарға қатысты болып келеді.

1.5.16 Қаттылықтың бойлық (меридиональді) элементі (stringer stiffener): Айналымның қаптамасын қалаптастырушы болып табылатын қаптаманың меридиан пішінін қайталайтын қаттылықтың жергілікті элементі. Ол тұрақтылықты, жергілікті жүктемелр мен тік осьтік қысаңқы күштерді қабылдауды жоғарылату үшін қолданылады. Бойлық қабырға негізгі кесе көлденең жүктемелерден иілетін сәттердің әсерінен көтергіш қабілетті жоғарылатуға арналмаған.

1.5.17 Қабырға (rib): Қабырға – қаптама меридианасы немесе жазық пластина жазықтығында иіліді туғызатын жүктемелерді тікелей қабылдайтын жергілікті элемент. Қабырға айналым қалыптастыратын қаптамада орналасады немесе призматикалық юөлігінің тік қабырғасы ретінде болады. Құрылым иілім жағдайында жұмыс істеген кезде құрылымға түсетін кесе көлденең жүктемені тарату үшін қолданылады.

1.5.18 Қаттылықтың шиғыршық қабырғасы (ring stiffener): қаттылықтың шиғыршық қабырғасы – нақты бір биіктікте құрылым периметрін бойлай өтетін және меридианды кесіп өтетін қаттылықтың жергілікті элементі. Ол қаптаманың меридиональді жазықтығында аз ғана қаттылыққа ие. Шиғыршық қабырға қаптаманың тұрақтығын арттырып, жергілікті жүктемелерді қабылдағанымен, негізгі сүйеніш элемент болып табылмайды. Айналым қаптамасында айналып өтсе, ал тікбұрышты құрылымдарда бункерді кесе көлденең қиятын тікбұрышты пішінде болады.

1.5.19 Тіреуіш шиғыршық (base ring): Тіреуіш шиғыршық – құрылымды бойлай өтетін және құрылымды фундаментке немесе басқа да құрылымдық элементтерге

бекітетін құрылымдық элемент. Тіреуіш шиғыршық резервуарды бекітудің есептік шарттарын қамтамасыз етуі керек.

1.5.20 Шиғыршық балка (ring girder or ring beam): Көлденең жазықтықта және каркас элементінің жазығында иілмелі қаттылыққа ие элемент. Бұл элемент құрылым периметрі бойынша орналасады және цилиндрлік резервуарларда балка шиғыршық пішінде, призматикалықта – шаршы немесе тікбұрыш пішінде болады. Бұл балка негізгі тіреуіш элемент болып табылады және парақтық элементтерге (цилиндрлік немесе призматикалық қабырғаға (3.1.10 тармағын қ.) түсетін жергілікті жүктемелерді қабылдау мен өткізу үшін пайдаланылады.

1.5.21 Үздіксіз таяныш (үздіксіз сүйеніш) (continuously support): Егер резервуар негізі периметрінің кез келген нүктесінде көлденең және тік жүктемелерді өткізу бірдей тәсілмен орындалса резервуар үздіксіз таянышқа ие. Бұл шарттан азын аулақ ауытқулар (мысалы, кішкентай тесік түрінде) осы анықтаманың қолданылуына әсер етпейді.

1.5.22 Жеке тіреуіш (дискретті сүйену) (discrete support): Дискретті сүйену бункер құрылым периметрі бойынша орналасқан саны аз тар консольдер мен колонналармен тірелген кезде орын алады.

1.5.23 Қорғауыш қабырғасы бар резервуар (catch basin): Алғашқы резервуардан ағып кету немесе авария себебінен шығып кетуі мүмкін сұйықтықты сақтау үшін резервуардың сыртқы құрылымы. Құрылымның бұл түрі негізгі резервуарда улы және зиянды сұйықтықтар болған жағдайда пайдаланылады.

1.6 Шартты белгілер

ISO 3898:1987 қолданылатын символдар негіздері.

1.6.1 Латын әліппесінің жазба әріптері

A – бойлай қиюдың ауданы;

A_1, A_2 – резервуар шатырының орталық шиғыршығының үстінгі және астыңғы белдеулері қимасының ауданы;

D – резервуар диаметр;

E – Юнг модулі;

H – корпус қабырғасының сұйықтық бетіне дейінгі бөлігінің биіктігі; резервуарды толтырудың максималды жобалық деңгейі;

H_0 – резервуар корпусының биіктігі;

I – кесе көлбеу қию инерциясының сәті;

K – бойлай иілудің коэффициенті;

L – қаптама сегментінің немесе қаттылық қабырғасының биіктігі;

M – құрылым элементіндегі иілу сәті;

N – элементтегі бойлық (осьтік) күш;

N_f – қажу шарты бойынша жүктеу циклдерінің минималды мөлшері;

P – шатыр сұйыққоймасы элементіне түсетін вертикаль салмақ;

R – цилиндрлік емес қабаттың кисық радиусы
 T – температура;
 W – қима қарсылығының серпінді кезеңі; салмақ

1.6.2 Латын әліпбиінің кіші әріптері

a - қаңқадағы шаршы ойығының бүйір ұзындығы;
 b - - қаңқадағы шаршы ойығының бүйір ұзындығы; көлденең қимадағы пластинкалы элементтің ені;
 c_p - желдік күшке неізделген қысымның коэффициенті;
 d - люктің немесе шығарылым ойығының диаметрі;
 e -сыртқы талшық өзегінен өзек өсіне дейінгі аралық;
 f_y - болат аққыштығының шегі
 f_n - болат беріктігінің шегінің
 h - шатыр(төбелер) биіктігі - шатырдың сырттың нүктесінен қабырға-шатыр түйіні орналасқан жазықтығына дейінгі (3.1.15 пунктты қара) аралық;
сұйыққойма (резервуар) қабырғасы белдеуінің биіктігі;
 j - құралымның беріктігінің коэффициенті; кернеу шоғырлануының коэффициенті;
қабырғаның белдеуінің нөмірі;
 l - қабырға өз беріктігінен айрылып қалу мүмкіндігі болатын қабырға биіктігі;
 m - ен бірлігіндегі иілім кезеңі;
 n – қорытындылайтын мембраналық кернеу (ешбір момент туындамағандағы теорияда); резервуардың домалақ шатырындағы шатыр тіреуіш (радиальды) бөренесінің саны;
 p - үлестірілген жүктеме (қабырғаға түзу бұрышпен тұру міндет емес);
 p_n - резервуар қабырғасы (сыртқы) үшін бір қалыпты қысым;
 r – резервуардың цилиндрлік қабырғасының орташа бетінің радиусы;
 t - қабырға қалыңдығы;
 w – резервуар (резервуардың қабырғасының астында) түбінің тірейтін шығыршығының минималды ені;
 x – резервуар шатыры үшін радиалды координата;
 y - резервуардың шатыры үшін жергілікті тік координата;
күшейтілген ойықтың конструкциясында пайдаланылған ауыстыру коэффициенті;
 z - ортақ осьтік координата; оське симметриялы резервуардың (айналдыратын қабығы) тік осі бойымен жүретін координатасы

1.6.3 Грек әліпбиінің әріптері

α - шатырдың беткейі;
 β - резервуар түбінің тік сызықтан (вертикалдан) ауып кетуі;
 $=\pi/n$, n – итарқа (шатыр тіреуіш) саны;
 γ_f - жүктің әсерлер етуі жағдайындағы сенімділіктің жеке коэффициенті;

γ_m - қарсылықтарға бағытталған сенімділіктің жеке коэффициенті;

δ - иілім;

Δ - ауыспалы өзгерісі;

ν - Пуассон коэффициенті;

θ – корпус шеңберіндегі айналмалы координата;

σ - бір қалыпты кернеу;

τ - жанама кернеу.

1.6.4 Жолма-жол әріпсандар (индекстер)

E - жобалықтың әсерлердің(жүктердің) нәтижесінде туатын кернеудің немесе жылжудың мағынасы;

F - өткіннің жартысында;

әсер ету;

a - сақиналық;

d - жобалық мағынасы;

f – шаршау, қажу;

i – ішкі; ішке қарай бағытталған;

саналатын ауыспалы;

k - шатырдың орталықтың шығыршығы;

k - мінездемелік мағына;

m - орташа мағынасы;

m_{in} - ең төмен ықтимал мөлшері (аумағы);

n - номиналды; қабырғаға түзу бұрыш астымен;

o - тыс; сыртқа бағытталған;

p - қысым;

r - радиалды; сақиналық;

R - қарсылық;

s - тіректе;

s - қабырға;

x - меридиональды; радиалды; осьтік;

y – айналдырмалы (сыртқы айналасы); перпендикулярлық;
аққыштық;

0 - эталондық мағына;

1 - сырт;

2 - төменгі;

θ – айналдырмалы, сыртқы айналасы.

1.7 Белгілердің ережелері және шартты белгілері

1.7.1 Домалақ резервуарларға арналған резервуар координаттарының ортақ жүйесі үшін қабылданған ережелер

1.7.1.1 Аталмыш тарауда келтірген ережелер барлық резервуарларға қатысты. Сонымен қатар, осы берілген стандартта резервуар тек біртұтас сындарлы элемент ретінде қарастырылмайды, ол көптеген басқа жеке құрылымдық элементтерден құралған конструкция ретінде қарастырылады. Координат жүйесімен жұмыс бастарда ең алдымен, координаттың жалпы және жергілікті жүйесі деген ұғымдарын нақты анықтап алу қажет. Стандартта мәтінінде тікелей «жеке элемент координатының жергілікті жүйесі» және «жалпы координат жүйесіне қатысты күштердің әсер ету бағытына жергілікті бағдарлауы» деген ұғымына айрықша көңіл аударады. Координаттардың жергілікті жүйесі қабыршаққа (тысы) жалғанған элементтерге байланысты деп түсіну қажет, сондықтан да жеке элементке қатысты айтылған әсер ету күштері координаттардың жергілікті жүйесінде жиі кездеседі және оларды резервуар құрылымына қолдану барысында оларды түгелімен дерлік бүкіл резервуар координаттарының ортақ жүйесіне көшіру керек.

1.7.1.2 Резервуар координаттарының ортақ жүйесі үшін жалпы жағдайда координаттардың цилиндрлік жүйесінде (4.1 суретті қара) келесідей белгілер қабылданған:

Координаталық жүйе

Айналудағы орталық остің бойындағы қабыршақ координаттары

z

Радиалдық координаттар

r

Айналмалы координаттары

θ

1.7.1.3 Келесідей ереже белгілері қабылданған:

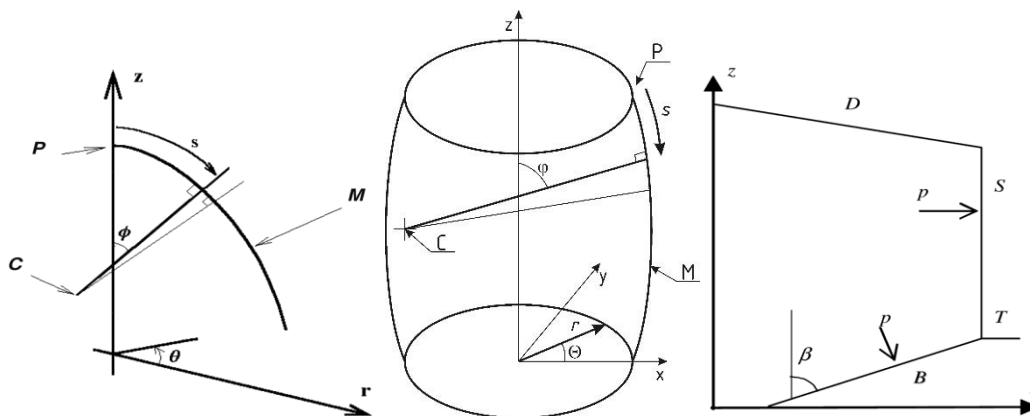
Сыртқа бағытталған - болымды (ішкі қысым және жылжу үшін)

Созылмалы кернеулер – болымды (бүгіліс жұмысын алмағандағы, сығушы кернеулер жағымды болып қабылданған).

1.7.1.4 Резервуар қабырғасының бетіне орналасқан әсер ету салмақтарына (күштеріне) қатысты шартты белгілер:

Қабыршақ сипатына бағытталған қысым

p_n



- а) Координаттардың жалпы жүйесі белгіленген үш өлшемді схемасы (Р – тірейтін нүктесі (полюс); М – Тірек меридианы; С – меридиональды кысықтың шұғыл орталығы);
 б) координаттар және салмақ: вертикалды қиық (тілік) (D – шатыр; S – қабырғасы; B – түбі; T – керітілген торап)

1.1 Сурет – Дөңгелек резервуарға арналған координаттық жүйе

1.7.2 Тіктөртбұрыштың резервуарларына арналған координаттардың ортақ жүйесі үшін қабылданған ережелер

1.7.2.1 Аталмыш тарауда келтірген ережелер барлық резервуарларға қатысты. Сонымен қатар, осы берілген стандартта резервуар тек біртұтас сындарлы элемент ретінде қарастырылмайды, ол көптеген басқа жеке құрылымдық элементтерден құралған конструкция ретінде қарастырылады. Координат жүйесімен жұмыс бастарда ең алдымен, координаттың жалпы және жергілікті жүйесі деген ұғымдарын нақты анықтап алу қажет. Стандартта мәтінінде тікелей «жеке элемент координатының жергілікті жүйесі» және «жалпы координат жүйесіне қатысты күштердің әсер ету бағытына жергілікті бағдарлауы» деген ұғымына айрықша көңіл аударады. Координаттардың жергілікті жүйесі қабыршаққа (тысы) жалғанған элементтерге байланысты деп түсіну қажет, сондықтан да жеке элементке қатысты айтылған әсер ету күштері координаттардың жергілікті жүйесінде жиі кездеседі және оларды резервуар құрылымына қолдану барысында оларды түгелімен дерлік бүкіл резервуар координаттарының ортақ жүйесіне көшіру керек.

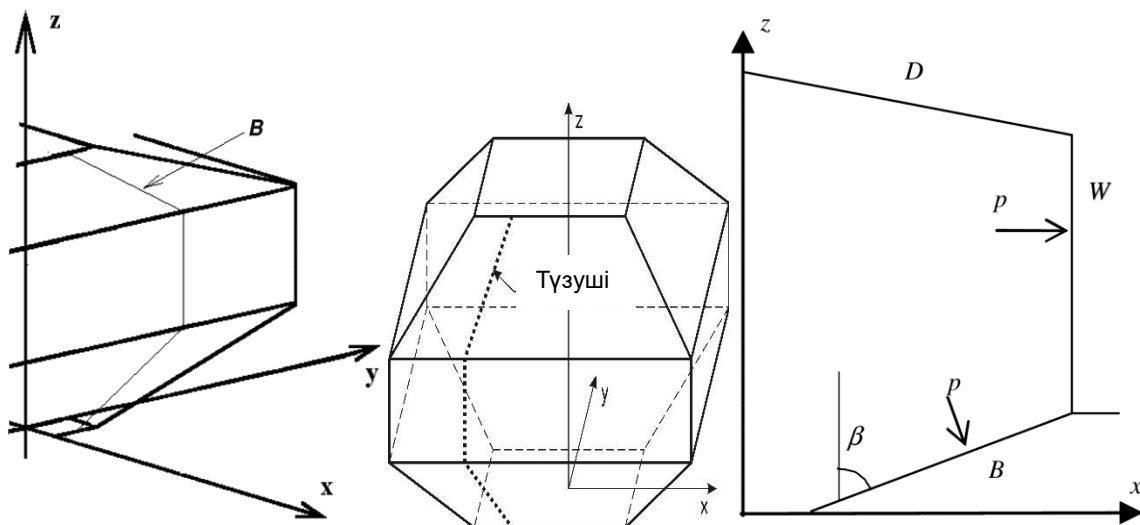
1.7.2.2 Жалпы алғанда, резервуар құрылымының ортақ координаттар жүйесі – бұл декарттық координаттар x , y , z , мұнда вертикалдық бағыт z ретінде қарастырылады (1.2 суретін қара).

1.7.2.3 Мынадай белгілердің ережелері қабылданған:

Сыртқа бағытталған – болымды (ішкі қысым болымды, сыртқы қозғалыс болымды)

Созылмалы кернеу – болымды (бүгіліс жұмысын алмағандағы, сығушы кернеулер жағымды болып қабылданған).

Жанама кернеу: (1.8.4 пунктті қара).



а)

б)

- а) Координаттардың жалпы жүйесі белгіленген үш өлшемді схемасы (В – қорап меридианы);
 б) координаттары және салмақ (күш): вертикальдық қиық (D – шатыр; W – қабырға; В – түбі)

1.2 Сурет – Тікбұрышты резервуарға арналған координаттық жүйе

1.7.2.4 Резервуар қабырғасының бетіне орналасқан әсер ету салмақтарына (күштеріне) қатысты шартты белгілер:

Қабыршақ сипатына бағытталған қысым

p

1.7.3 Домалақ және тіктөртбұрышты резервуардың құрылымдық элементтер координаттарының жергілікті жүйесі үшін қабылданған ережелер

1.7.3.1 резервуардың (1.3 және 1.4 суретті қара) қабырғасына іргелес жатқан құрылымдық элементтерге арналған шартты белгілері меридионалды және тоғынды (айналмалы) элементтер болып ажыратылады.

1.7.3.2 резервуардың қабырғасына (қабырға сияқты қорапқа да) іргелес жатқан меридионалды құрылымдық элементтері (1.3 а суретті қара) үшін шартты белгілері келесідей түрде берілген:

Цилиндр, оймыш және шатыр элементтеріне арналған меридионалды координата

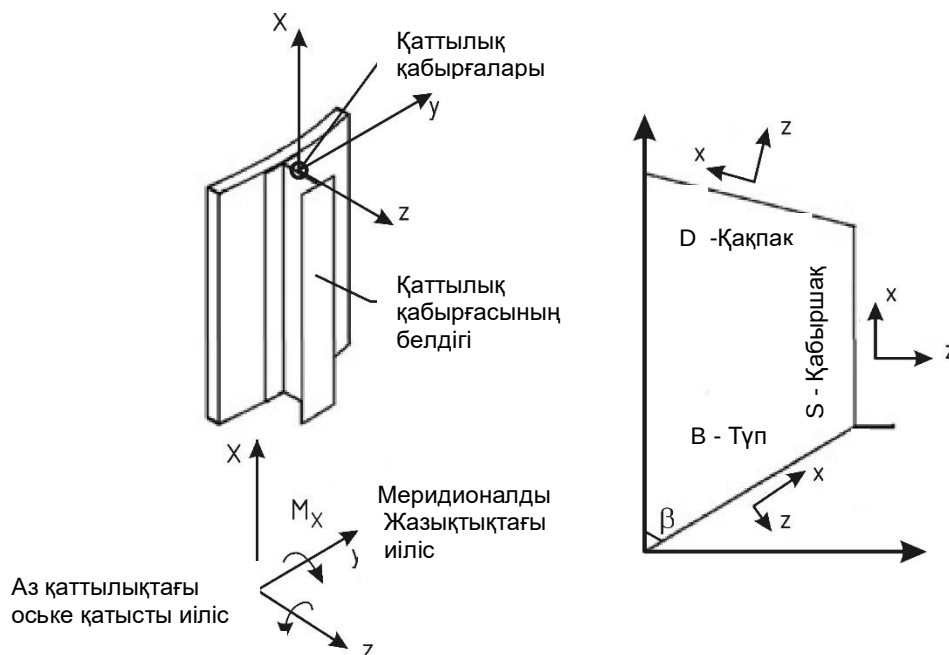
x

Қатты бүгілетін ось (сөрелерге параллель болып келеді)

y

Жәй бүгілетін ось (сөрелерге перпендикуляр болып келеді)

z



а)

б)

а) қабырға қаттылығы және осьтің иілгіштігі; б) резервуардың әртүрлі бөлігіндегі жергілікті осьтер (D – шатыр; S – қабырға; B – түбі)

Сурет – 1.3 Қабырғадағы (Қораптағы не қабыршақтағы) меридионалды қабырға қаттылығына арналған координаттардың жергілікті жүйесі

1.7.3.3 Қабырғаға іргелес жатқан айналмалы қисықсыздықты құрылымдық элементтерге (1.4 а суретті қара) арналған шартты белгілері төмендегідей:

Айналмалы координаттық осі θ

Радиалды (Бағытталған) осі r

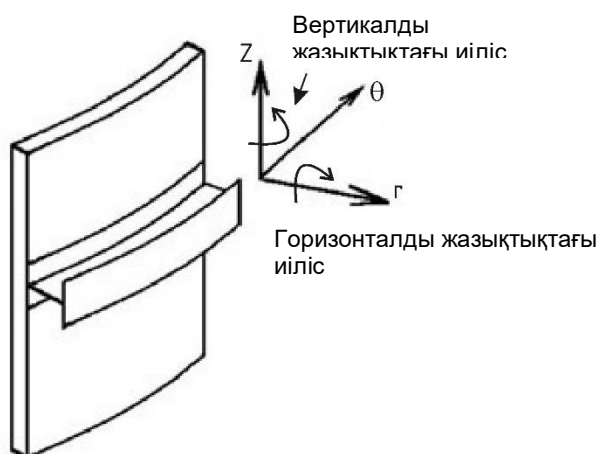
Вертикалдық осі z

1.7.3.4 Қорапқа іргелес жатқан айналмалы тіксызықтық құрылымдық элементтер үшін шартты белгілер келесідей:

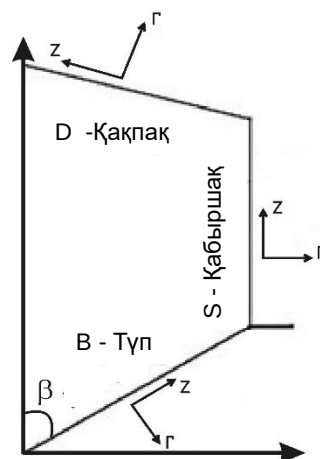
Айналмалы осі x

Горизонталь осі y

Вертикалдық осі z



а)



б)

а) қабырға қаттылығы және осьтің иілгіштігі; б) әртүрлі сегменттердегі жергілікті осьтер (D – шатыр; S – қабырға; B – түбі)

1.4 Сурет Қабырғадағы (Қораптағы не қабыршақтағы) айналмалы қабырға қаттылығына арналған координаттардың жергілікті жүйесі

1.7.4 Басты кернеулер (дөңгелек және тікбұрышты резервуарлар үшін) үшін қабылданған ережелер (келісімдер)

1.7.4.1 Кернеулерді көрсететін өлшемдердің жолма-жол әріпсандарына арналған ереженің көрінісі мынадай : "жолма-жол әріпсан бағыт-бағдар көрсетеді, мұнда салынған момент бір қалыпты кернеуді тудырады" . Мембраналық жанама кернеулерге арналған

әрекеттің белгілері және бағыттары кернеудің және айналма жасайтын моменттері 1.5 суретте көрсетілген.

Басты мембраналық кернеулер және олардың бағыттары 1.5 суретінде көрсетілген

p_x - тең әсер ететін меридионалды мембраналық кернеулер;

p_θ - тең әсер ететін қабыршақтағы сақиналық мембраналық кернеулер;

p_y - тең әсер ететін қораптағы айналмалы мембраналық кернеулер;

p_{xy} не $p_{x\theta}$ - тең әсер ететін жанама мембраналық кернеулер.

Мембраналық кернеулер:

σ_{mx} - меридионалды мембраналық кернеулер;

$\sigma_{m\theta x}$ – қабыршақтағы сақиналық мембраналық кернеулер;

σ_{my} – тікбұрышты қораптағы айналмалы мембраналық кернеулер;

τ_{mxy} не $\tau_{mx\theta}$ - жанама мембраналық кернеулер.

1 ЕСКЕРТПЕ Ағылшын тілдес әдебиеттерде кернеудің бір типін пайдалану үшін жекеше түрі қолданылады, яғни "кернеу" деп алынады. Бұдан орыстілдес нормалардың айырмашылығы көпше түрде қолданылады, яғни "кернеулер".

2 ЕСКЕРТПЕ "resultant" терминін аудару үшін "қорытқылар" деген терминді қолданбаған жөн. Ол келесі себептерге байланысты: (1) қорытқы деп әдетте инженерлік есептер жөніндегі әдебиеттерде кәдімгі келтірілген кернеулерді айтады, яғни бірнеше кернеулердің әрекеттерінің нәтижесі, (2) СП РК EN 1993-1-6-ға сәйкес, айтылмыш кернеулер қабыршақтың қалыңдығы бойынша бір қалыпты кернеулерден болған интеграл ретінде анықталады, сондықтан да баламалы аударма ретінде "тең әрекет етуші" деген термин болады.

1.7.4.2 Моменттерді (кезеңдерді) көрсететін өлшемдердің жолма-жол әріпсандары үшін ереженің көрінісі мынадай: "жолма-жол әріпсан бағыт-бағдар көрсетеді, мұнда салынған момент (уақыт) бір қалыпты кернеуді тудырады". Иілгіш моменттер үшін әрекеттердің белгілері мен бағыттары 1.5 суретте көрсетілген. Бұл жерде мынаны ескеру керек, берілген ереже СП РК EN 1993-1-1 и СП РК EN 1993-1-3-ға сәйкес өзектер және саптарға қолданылатын белгілердің ережелерінен және белгіленуінен өзгешеленеді.

Тең әрекет етуші иілгіш моменттер (1.5 - суретте көрсетілген):

m_x – ен бірлігіндегі меридионалды иілгіш моменті;

m_θ – қабырғадағы ен бірлігіндегі сақиналық иілгіш момент

m_y – тікбұрышты қорап қабырғасының ен бірлігіндегі айналмалы иілгіш момент;

m_{xy} не $m_{x\theta}$ – ен бірлігіндегі айналмалы момент.

Иілгендегі кернеу:

σ_{bx} – иілгендегі меридионалды қалыпты кернеу;

$\sigma_{b\theta}$ – қабырғадағы иілгендегі сақиналық қалыпты кернеу;

σ_{by} – тікбұрышты қораптағы иілгендегі горизонталды қалыпты кернеу.

τ_{bxy} не $\tau_{bx\theta}$ – қабыршақ жазықтығынан ширатылғандағы жанама кернеулер.

Ішкі және сыртқы жазықтықтағы кернеулер:

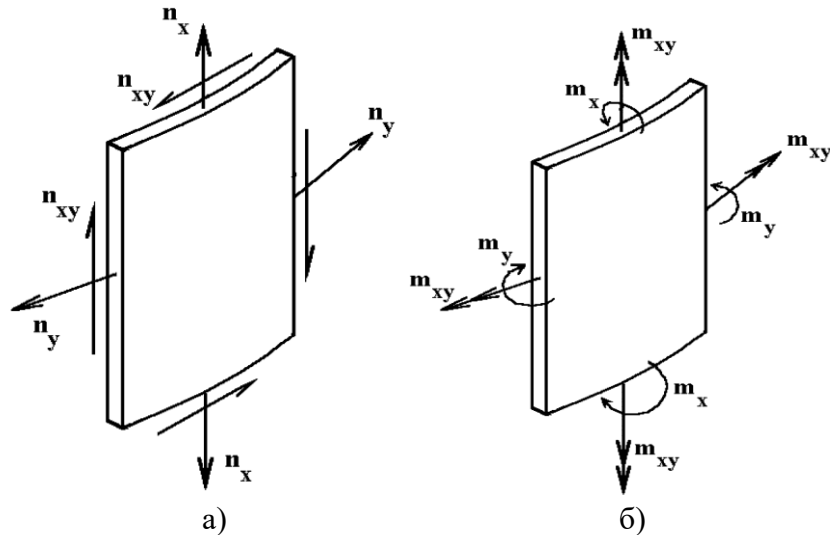
σ_{six} , σ_{sox} – қабыршақ және қорап жазықтығындағы меридионалды ішкі және сыртқы кернеулер;

$\sigma_{si\theta}$, $\sigma_{so\theta}$ – қабыршақ жазықтығындағы сақиналық ішкі және сыртқы кернеулер;

$\tau_{six\theta}$, $\tau_{sox\theta}$ - қабыршақ жазықтығындағы ішкі және сыртқы кернеулер;

σ_{siy} , σ_{soy} – тікбұрышты қорап жазықтығындағы айналмалы ішкі және сыртқы кернеулер ;

τ_{sixy} , τ_{soxy} - тікбұрышты қорап жазықтығындағы жанама ішкі және сыртқы кернеулер ;



а – тең әрекет етуші мембраналық кернеу;

б – қабырғаның бүгілу барысында болатын тең әрекет етуші кернеу

1.5 Сурет- Резервуар қабырғасындағы (қабыршақ және қораптағы) тең әрекет етуші кернеу

1.8 Өлшем бірлігі

1.8.1 СИ-дың бірлігі ISO 1000-ға сәйкес пайдаланылуы керек.

1.8.2 Есептеулер үшін төмендегідей сәйкестендірілген бірліктер ұсынылады:

– өлшемдер	м	мм
– үлесті салмақ(салмақтың бірліктері)	кН/м ³	Н/мм ³
– күш және салмақтар	кН	Н
– қума жігер (күштер) және қума салмақтар	кН/м	Н/мм
– аудан бойымен орналасқан қысымдар мен әсерлер	кПа	МПа
– көлем (масса) бірлігі	кг/м ³	кг/мм ³
– үдеу	км/с ²	м/с ²
– тең әсер ететін мембраналық кернеу	кН/м	Н/мм
– тең әсер ететін иілетін кернеулер	кН·м/м	Н·мм/мм
– майысқақтық (серпінділік) кернеуі мен модулі	кПа	МПа(=Н/мм ²)

2 ЖОБАЛАУ НЕГІЗДЕРІ

2.1 Негізгі қойылатын міндеттер

2.1.1 Резервуарларды жобалау, құру және қызмет көрсету кезінде 2-ші бөлімнің СП РК EN 1990 талаптарын ескеру керек, сонымен қатар, осы оқулықта берілген қосымша талаптарды да ескеру керек.

2.1.2 Жобалау кезінде құрылыстың бастапқы есептік схемасының өзгерісі мен салмағының мүмкін болатын нұсқаларын ескеру қажет, өйткені бұл резервуарды монтаждау кезінде пайда болуы мүмкін.

2.2 Сенімділік деңгейі

2.2.1 Сенімділікпен қамтамасыз ету бойынша жалпы нұсқаулары EN 1990. нормативінде көрсетілген.

ЕСКЕРТПЕ СП РК EN 1993-4-2 –ға тіркелетін Ұлттық қосымша резервуарларды сенімділікпен қамтамасыз ету саласында EN 1993-4-2-нің барлық жағдайларын ешбір өзгеріссіз қабылдай береді.

2.2.2 Таңдап алынған сенімділік деңгейіне байланысты EN 1993-4-2:2007 тәптіштеудің әртүрлі деңгейі арқылы жобалауды жүзеге асыруға рұқсат береді. Бұл жерде айтылып отырғаны, әртүрлі құрылымдық формадағы, құрылымдық шешімдер және мүмкін болатын жеңілдіктер (11 тарауды қара) резервуардың жауапкершілік деңгейіне байланысты таңдау болады, сонымен қатар (қажет жағдайларда) құрылымды бұзудың әртүрлі нұсқалары қарастырылады, яғни резервуарды дайындау және монтаждау кезінде, дәл сол сияқты резервуарды барлау кезінде мүмкін болатын есептесетін жағдайларды есепке алу қарастырылады.

2.2.3 EN 1993-4-2:2007 -да қолданылатын үш класс(1, 2 және 3) нәтижесінде резервуарлардың әртүрлі түрлеріне салыстырмалы деңгейдегі сенімділікпен қамтамасыз етеді. Баға деңгейінің сенімділігі конструкция жағдайының салмақты өзгеріске ұшырағанының көрсеткішін ғана емес, сонымен қатар, әртүрлі құрылымдық элементтер үшін сенімділіктің (бұзылмайтындығы) сәйкес деңгейін қамтамасыз етудің бағалық көрсеткішін ескеретінін естен шығармауымыз керек.

ЕСКЕРТПЕ Оқулықтағы нәтижелердің кластары СП РК EN 1993-4-2:2007-ға ұлттық Қосымша негізінде қабылданды.

– **Нәтиже класы 3:** Токсикалық және жарылыс потенциалы бар сұйықтықтар мен сығылған газдарды сақтауға арналған резервуарлар және қала территорияларында тұтандыратын және суды ластайтын сұйықтықтары бар үлкен көлемді резервуарлар бар. Бұл конструкцияда апаттық жағдайлары болатын болса, СП РК EN 1993-4-2 –ның А. 2.14. бөліміне сәйкес болуы керек.

– **2 салдар тобы:** Қала аумақтарындағы тұтанатын немесе суды ластаушы сұйықтықтар сақталатын орта көлемдегі резервуарлар.

– **1 салдар тобы:** Ауылшаруашылық резервуарлар немесе суды сақтауға арналған резервуарлар.

2.2.4 Салдарлардың тиісті тобы жобалаушы, тапсырыс беруші және тиісті бақылаушы орган арасында келісіліп, таңдалуы керек.

2.3 Шектік жай-күйлер

2.3.1 Осы құралды ҚР ҚН EN 1993-1-6 айқындалған шектік жай-күйлер қабылданған.

2.4 Қоршаған ортаға ықпалы мен әсері

2.4.1 Болат резервуарларды жобалау кезінде ҚР ҚН EN 1990 4.1 бөлімшесінде белгіленген талаптарды ескеру қажет.

2.4.2 Резервуарларға жүктемені анықтаған кезде негізгі норматив ретінде А СП РК EN 1993-4-2 қосымшасына сәйкес дәлелдемелерді міндетті түрде ескере отырып, ҚР ҚН EN 1991 белгіленген жөн.

2.5 Материалдардың сипаттамалары

2.5.1 Резервуарларды жобалау кезінде ҚР ҚН EN 1993-1-1 келтірілген материалдарға және олардың сипаттамаларына қойылатын жалпы талаптарды ескеру қажет.

2.5.2 Резервуарларды жобалау кезінде қосымша ҚР ҚН EN 1993– 4 – 2 3 бөлімде көрсетілген материалдарға қойылатын арнайы талаптарды ескеру қажет.

2.6 Геометриялық параметрлер

Резервуардың геометриялық параметрлерін айқындаған кезде:

- ҚР ҚН EN 1990 берілген жалпы талаптар;
- ҚР ҚН EN 1993-1-6 көрсетілген қаптамаларға қойылатын қосымша арнайы талаптар;
- ҚР ҚН EN 1993-4-2 4.1.2 тармақта көрсетілген элементтердің қалыңдығын айқындаудың нұсқауларын ескеру керек.

2.7 Модельдеу (есеп схемалары) және резервуарды есептеу

2.7.1 Модельдеу (есептеу) кезінде ҚР ҚН EN 1990 келтірілген жалпы талаптарды ескеру қажет.

2.7.2 Құрылымның тиісті элементтері үшін құрылыс жарамдылығының талаптарын ескере отырып, құрылымды есептеу кезінде осы құралдың 5.5, 7.5 және 9.4 тармақтарын ескеру қажет.

2.7.3 Құрылымды беріктікке есептеген кезде осы құралдың 5.3, 7.3 және 9.3 бөлімшелерінде берілген арнайы талаптар ескерілуі қажет. Сондай ақ ҚР ҚН EN 1993-1-6 көрсетілген талаптарды ескеру қажет.

2.8 Сынақ негізінде жобалау

2.8.1 Жобалаудың аталмыш тәсілін қолданған кезде ҚР ҚН EN 1990 D қосымшасында берілген жалпы талаптарды ескеру қажет.

2.9 Шектік жағдайдарды тексеру кезінде ықпал етуді (жүктемелерді) ескеру

2.9.1 Жалпы ережелер

2.9.1 Жобалау кезінде міндетті түрде ҚР ҚН EN 1990 берілген талаптар сақталуы керек.

2.9.2 Беріктік бойынша шектік жай-күйлер үшін сенімділіктің жеке коэффициенттері

2.9.2.1 Резервуарларға ықпал ету (жүктеме) үшін сенімділіктің жеке коэффициенттері

2.9.2.1.1 Ықпал ету (жүктеме) мәнінің тұрақты және уақытша есеп жағдайлары үшін γ_F сенімділіктің жеке коэффициенттерін ескере отырып қабылдау керек.

ЕСКЕРТПЕ ҚР ҚН EN 1993-4-2 Ұлттық Қосымшасына сәйкес нормативтік құжаттарда қабылданған γ_F сенімділіктің коэффициенттерінің мәндері EN 1993-4-2 ұсынылған мәндерге сәйкес.

2.9.2.1.2 Кездейсоқ (апаттылық) жағдайлар үшін γ_F сенімділіктің жеке коэффициенттері айнымалы мәнді жүктемелер (айнымалы жүктемелер) үшін қолданылады. Аталмыш тәсіл резервуарға сұйық өнімді құюдың кезіндегі жүктемені анықтау үшін де қолданылады.

ЕСКЕРТПЕ ҚР ҚН EN 1993-4-2 Ұлттық Қосымшасына сәйкес нормативтік құжаттарда қабылданған γ_F сенімділіктің коэффициенттерінің мәндері EN 1993-4-2 ұсынылған мәндерге сәйкес. γ_F мәндері осы құралдың 2.1 кестесінде көрсетілген.

2.9.2.1.3 Белгілі бір өндірісте шығарылатын өнімді сақтауға арналған резервуарлар («тауарлық» резервуарлар д.а.) үшін жүктеме бойынша сенімділіктің жеке коэффициенттері жеке келісілуі тиіс.

ЕСКЕРТПЕ ҚР ҚН EN 1993-4-2 Ұлттық Қосымшасына сәйкес нормативтік құжаттарда қабылданған γ_F сенімділіктің коэффициенттерінің мәндері EN 1993-4-2 ұсынылған мәндерге сәйкес. γ_F мәндері осы құралдың 2.1 кестесінде көрсетілген.

2.1-кесте - Резервуарларға ықпал ету (жүктеме) бойынша сенімділік жеке коэффициенттерінің мәні (тұрақты, уақытша және кездейсоқ (апаттық) есеп жағдайлары үшін)

Есептеу жағдайы	Сұйықтықтың түрі	Сұйықтықтардан түсетін айнымалы жүктемелер үшін γ_F мәндері	Тұрақты жүктемелер үшін γ_F мәндері
Қалыпты эксплуатация жағдайындағы гидростатикалық жүктемелер	Улағыш, жарылғыш және қауіпті сұйықтықтар	1,40	1,35
	жанғыш сұйықтықтар	1,30	1,35
	өзге сұйықтықтар	1,20	1,35
Сынақ барысындағы гидростатикалық жүктемелер	барлық сұйықтықтар	1,00	1,35
Кездейсоқ (апаттық) жағдайлар	барлық сұйықтықтар	1,00	

2.9.2.2 Көтергіш қабілет бойынша сенімділіктің жеке коэффициенттері

2.9.2.2.1 Сынақ нәтижелері негізінде анықталған құрылымдардың (элементтердің) өлшемдері мен сипаттамаларын жобалау барысында қолданған кезде ҚР ҚН EN 1990 белгіленген талаптар мен рәсімдерді ұстану қажет.

2.9.2.2.2 Босаңсуды тексеру ҚР ҚН EN 1993-1-6 9 бөліміне сәйкес өту керек.

2.9.2.2.3 γ_{Mi} сенімділіктің жеке коэффициенттері осы құралдың 2.2-кестесі бойынша қабылдануы керек.

2.2-кесте - Көтергіш қабілет бойынша сенімділіктің жеке коэффициенттері

Кедергі түрі (қабылдау сипаты (түрі))	Тиісті γ
Қаптама қабырғасының пластикалық бұзылу шарты бойынша дәнекерленген немесе бұрандама біріктірудің (көлбеу қию үшін) көтергіш қабілеті	γ_{M0}
Қаптама тұрақтылығының бұзылуы	γ_{M1}
Дәнекерленген немесе бұрандамалармен біріктірілген қаптаманың ажырауы	γ_{M2}
Қаптаманың топтамалық пластикалық бұзылуы	γ_{M4}
Дәнекерленген немесе бұрандамалық біріктірулердің көтергіш қабілеті	γ_{M5}
Қаптаманың босаңсу арқылы бұзылуы	γ_{M6}

ЕСКЕРТПЕ ҚР ҚН EN 1993-4-2 Ұлттық Қосымшасына сәйкес нормативтік құжаттарда қабылданған γ_{M1} сенімділіктің коэффициенттерінің мәндері EN 1993-4-2 ұсынылған мәндерге сәйкес және төмендегіні құрайды:

$$\gamma_{M0} = 1,00$$

$$\gamma_{M1} = 1,10$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

$$\gamma_{M4} = 1,00$$

$$\gamma_{M5} = 1,25$$

$$\gamma_{M6} = 1,10$$

ЕСКЕРТПЕ γ_{M5} коэффициенті бойынша қосымша ақпарат ҚР ҚН EN 1993-1-8, γ_{M6} коэффициенті бойынша ҚР ҚН EN 1993-1-9 берілген.

2.9.3 Эксплуатациялық сенімділік (жарамдылық) бойынша шектік жағдайлар

2.9.3.1 Құрылымдарды эксплуатациялық беріктігіне тексеру кезінде құрылымға мүмкін болатын өзара біріккен ықпал етулерді (жүктемелерді) ескеру керек. Ықпал етулердің (жүктемелердің) біріккен әрекеті тиісті жабдықты пайдаланудың ережелерінде анық көрсетілген жағдайда ғана есептеу жағдайы ретінде ескерілмейді.

2.9.3.2 Барлық мүмкін болатын есептік жағдайлар үшін γ_{Mser} сенімділіктің тиісті коэффициенттері белгіленуі керек.

ЕСКЕРТПЕ ҚР ҚН EN 1993-4-2 Ұлттық Қосымшасына сәйкес нормативтік құжаттарда $\gamma_{Mser} = 1$ коэффициентінің мәні қабылданған.

2.10 Ықпал етулердің (жүктемелердің) амалдары

2.10.1 Ықпал етулердің (жүктемелердің) біріккен әрекетін (амалын) анықтау кезінде ҚР ҚН EN 1990 келтірілген жалпы талаптарды орындау қажет.

2.10.2 Уақыт және қар жүктемелерінің бір мезгілде ықпал етуін ескеру міндетті түрде емес.

2.10.3 Гидростатикалық сынаудың жүктемесімен қатар жел жүктемесін ескерген кезде оның қысқа мерзімді ретінде қарастырылатын төмендетілген мәні қолданылуы мүмкін.

2.10.4 Резервуарды сынау кезінде сейсмикалық жүктемелерді ескермеуге болады.

2.10.5 Резервуарды сынау кезінде апаттық жүктемелерді ескермеуге болады. Есептік апаттық жағдайларды қарастырған кезде кездейсоқ (апаттық) жүктемелерді ҚР ҚН EN 1990 көрсетілгенге сәйкес есептелу керек.

2.11 Ұзақмерзімділігі

2.11.1 ҚР ҚН EN 1990 көрсетілген жалпы талаптар мен қағидалар ескерілуі қажет.

3 МАТЕРИАЛДАРДЫҢ СИПАТТАМАСЫ

3.1 Жалпы ережелер

3.1.1 Резервуарларды құрастыруда қолданылатын болаттың барлық маркаларында жақсы пісірілу қасиеті болуы қажет. Болашақта резервуарларды жөндеу және қайта құрастыру кезінде ыңғайлы болуы үшін бұл талапты міндетті түрде орындайды.

3.1.2 Резервуарларды құрастыруда қолданылатын домалақ формалы барлық болаттар, бүгілген беттер немес бүгілген элементтерге суық формалауға жарамды болуы тиіс.

3.1.3 1993-4-2 ҚР ҚН EN-ң 3 Бөлімінде қарастырылған материалдың сипаттамаларын номиналды ретінде қарастыру қажет және жобалау мен есептеу кезінде оларды сипаттамалық мәндер ретінде есепкереді, яғни есептеу кезінде сәйкес келетін түзету коэффициенттерін ескеру қажет болады.

3.1.4 Материалдың басқада сипаттамалары 1993-1-1 ҚР ҚН EN-мен анықталған сәйкес келетін көрсетілген стандартта келтірілген.

3.1.5 Резервуарды жоғарғы температуралы сұйықтықтарды сақтау үшін қолданған жағдайда, есептеу мен жобалау кезінде ескерілетін материалдың қасиеттерін материал жұмыстайтын максималды температураны ескерек отырып анықтау қажет.

3.1.6 Жоғарғы температураларда жұмыстайтын (конструкциялық болаттар үшін $T > 100^{\circ}\text{C}$ және тот баспайтын болаттар үшін $T > 50^{\circ}\text{C}$) материалдың (болат) сипаттамалары 13084-7 EN стандарты бойынша анықталуы тиіс.

3.2 Конструкциялық болаттар

3.2.1 1993-4-2 ҚР ҚН EN-де келтірілген есептеу және жобалау әдістерін 1993-1-1 ҚР ҚН EN және 1993-1-3 ҚР ҚН EN талаптарына сәйкес келетін конструкциялық болаттарға қолданылуы тиіс.

3.2.2 10025 EN немесе 10049 EN сәйкес келетін конструкциялық болаттардың механикалық қасиеттерін 1993-1-1 ҚР ҚН EN-ң 3 Бөліміне сәйкес немесе 1993-1-3 ҚР ҚН EN-ң 3 Бөліміне сәйкес қабылдау қажет.

3.3 Қысым астында жұмыстайтын резервуарлар (сыйымды ыдыс) үшін қолданылатын болаттар

3.3.1 1993-4-2 ҚР ҚН EN-де ескертілген жобалау ережелерін 10028 EN бойынша болаттар үшін де қолдануға болады, бұл болаттарды келесі шарттар орындалғанда қысым астында жұмыстайтын резервуарларды (сыйымды ыдыс) жасауға болады:

- аққыштық шегі 1993-1-1 ҚР ҚН EN-де көрсетілген диапазон аясында;
- осындай аққыштық шегі бар болаттар үшін, 1993-1-1 ҚР ҚН EN-ге сәйкес, шекті деформация минималды мәннен төмен;
- f_u/f_y қатынасы 1,10 кем емес.

3.3.2 Қысым кезінде қолданылатын болаттардың механикалық сипаттамаларын 10028 EN-ге сәйкес алу қажет.

3.3.3 Конструкцияны тұрақтылыққа есептеу кезінде 1993-1-6 ҚР ҚН EN-ң 3.1 Бөлімшесіне сәйкес, келтірілген сәйкес келетін сипаттамаларды қолдану қажет.

ЕСКЕРТПЕ 1993-4-2 ҚР ҚН EN-ң Ұлттық Қосымшасында 1993-4-2 ҚР ҚН EN-ң 3.3 Бөліміне қосымшалаған ешқандай қосымшасы жоқ және оның ережесін толық көлемде қолданады.

3.4 Тот баспайтын болаттар

3.4.1 10088 EN бойынша тот баспайтын болаттардың механикалық сипаттамалары 1993-1-4 ҚР ҚН EN-де келтірілген.

3.4.2 Коррозиялық әсерлерді ескере отырып тот баспайтын болаттарды таңдау бойынша басшылықты сәйкес келетін дерек көздерінен алуға болады.

3.4.3 Конструкцияны тұрақтылыққа есептеу кезінде 1993-1-6 ҚР ҚН EN-ге сәйкес келтірілген сипаттамаларды қолдану қажет.

3.5 Соққы тұтқырлығы бойынша талаптар

3.5.1 Жалпы ережелер

3.5.1.1 Соққы тұтқырлығы бойынша талаптарды, 1993-1-10 ҚР ҚН EN бойынша металлдың минималды жобалық температурасы (эксплуатация кезіндегі металлдық минималды температурасы) үшін анықтау қажет.

3.5.1.2 Металлдың минималды жобалық температурасын (ММЖТ) 1993-4-2 ҚР ҚН EN-ң 3.5.2 Тармағындағы көрсетілулерге сәйкес анықталады. ММЖТ-ң анықталған мәндерін 1993-1-10 ҚР ҚН EN-дегі T_{ed} мәнінің орнына қолдануға болады.

3.5.2 Металлдың минималды жобалық температурасы

3.5.2.1 Металлдың минималды жобалық температурасын келесі екеуінің бірінің минималды мәніне тең деп қабылдайды: резервуардың ішіндегісінің минималды температурасы немесе осы Құралдың 6.1 Кестесі мен 6.5.2.2 Тармағы бойынша анықталған минималды температура.

3.5.2.2 Металлдың минималды жобалық температурасын (ММЖТ) анықтау үшін қоршаған ортаның минималды орташа күндік температурасы LODMAT (ҚОМОКТ) қолданылады, оны қайсы болсын 24-сағаттық кезеңде тіркелген орташа минималды температура ретінде анықтауға болады. Бұл мәлімет жоқ болған жағдайда, LODMAT (ҚОМОКТ) минималды және максималды температура арасындағы орташа мән ретінде немесе басқа да негізделген әдіс бойынша алуға болады.

LODMAT (ҚОМОКТ) мәнін біле отырып ММЖТ анықтау осы Құралдың 3.1 Кестесі бойынша жүргізіледі.

3.1-кесте – LODMAT (ҚОМОКТ) негізделген металлдың минималды жобалық температурасы (ММЖТ)

Қоршаған ортаның миникалды орташа күндік температурасы LODMAT (ҚОМОКТ)	Металлдың минималды жобалық температурасы ММЖТ	
	10-жылдық бақылау кезеңі	30-жылдық бақылау кезеңі
$-10^{\circ}\text{C} \leq \text{LODMAT (ҚОМОКТ)}$	$\text{LODMAT (ҚОМОКТ)} + 5^{\circ}\text{C}$	$\text{LODMAT (ҚОМОКТ)} + 10^{\circ}\text{C}$
$-25^{\circ}\text{C} \leq \text{LODMAT (ҚОМОКТ)} \leq -10^{\circ}\text{C}$	LODMAT (ҚОМОКТ)	$\text{LODMAT (ҚОМОКТ)} + 5^{\circ}\text{C}$
$\text{LODMAT (ҚОМОКТ)} \leq -25^{\circ}\text{C}$	$\text{LODMAT (ҚОМОКТ)} - 5^{\circ}\text{C}$	LODMAT (ҚОМОКТ)

4 КОНСТРУКЦИЯНЫ ЕСЕПТЕУ НЕГІЗДЕРІ

4.1 Салмақ көтеру қабілеттігінің шектік жағдайы

4.1.1 Негізгі ережелер

4.1.1.1 Болат конструкциялар, олардың элементтері мен байламдары 1993-4-2 ҚР ҚН EN-ң 2 Бөлімінде айтылған талаптарғасай болуы тиіс.

4.1.2 Иілгіш элементтердің есептерде қолданылатын жуандығы

4.1.2.1 Пластинаның есептерде ескерілетін жуандығы 10025 EN, 10028 EN, 10049 EN немесе 10088 EN сәйкес номиналды жаундыққа тең деп қабылданады.

4.1.3 Коррозияның әсері

4.1.3.1 Коррозияның әсерін ескеру қажет.

4.1.3.2 Коррозия сақталатын сұйықтықтың агрессиялығына, болаттың маркасына, термиялық өндеуге мен құрылысты коррозиядан қорғау үшін жасалған екіншілік шараларға тәуелді.

4.1.3.3 Қажет болған жағдайда коррозиялық тозыққа жіберілген мәні көрсетілуі тиіс.

4.1.4 Шаршау

4.1.4.1 Тиеу – түсірудің иі болатын циклдарымен сипатталатын эксплуатациялау режимі кезінде конструкцияны шаршау бойынша шектік жағдайға тексеріп отыру қажет.

4.1.4.2 Азцилды шаршауды ескере отырып конструкцияны есептеуды 1993-1-6 ҚР ҚН EN-гі көрсетулер бойынша орындайды.

4.1.4.3 N_f артық эксплуатациялық жобалық мерзімі үшін циклдер саны бар ауыспалы әсерлер (ауылық түсіру) болған жағдайда, конструкцияны 1993-1-6 ҚР ҚН EN-ң 9 Бөліміндегі көрсетулерге сәйкес шаршау мықтылығына (LS4) тексеру қажет.

ЕСКЕРТПЕ 1993-4-2 ҚР ҚН EN-ң Ұлттық Қосымшасына сәйкес, қолданыстағы нормативтік құжаттарда циклдардың саны $N_f = 10\,000$ деп қабылданған.

4.1.5 Температуралық әсерлерді ескеру

4.1.5.1 Болат резервуарларды жобалау кезінде резервуардың әр түрлі элементтері арасындағы температуралар әр түрлілігінің әсерін ескеру қажет. Қарастырылып жатқан шектік жағдайға байланысты бұл әсерді конструкцияның элементтеріндегі кернеуді анықтау кезінде сәйкес түрде ескеру қажет.

4.2 Резервуар жобасындағы домалақтың қабығын есептеу

4.2.1 Қабықты модельдеу

4.2.1.1 Қабықты модельдеу кезінде 1993-1-6 ҚР ҚН ЕН-де келтірілген талаптар орындалуы тиіс, бірақ төменде келтірілген шарттар орындалса бұл талаптар орындалды деп есептеуге болады (Осы құрылдың 7.2 Бөлімшесін қараңыз).

4.2.1.2 Қабықты моделдеу кезінде қаттылықтың барлық қабырғаларды, қуыстар мен саңылауларды, сонымен қатар қабыққа жабысатын барлық қосымша элементтерді ескеру қажет

4.2.1.3 Есептік сұлбада қабылданған бекіту шарттары және нақты жүзеге асырылған конструктивті шешімдер бір біріне сәйкес келуі тиіс.

4.2.2 Есептеу әдістері

4.2.2.1 Жалпы ережелер

4.2.2.1.1 Қабықты есептеу ЕН-де көрсетілген талаптарды ұстана отырып жүргізілуі тиіс.

4.2.2.1.2 Талдап тексеру дәрежесі, есептеу әдістері және есептеудің қолданылатын теориялары таңдап алынған салдар классына сәйкес болуы тиіс. Қажет болған жағдайда, жобалаушы салдардың жоғарғы классына анықталған есептеу әдістерін қолдануға құқығы бар.

4.2.2.1.3 14.1 Бөлімшеде келтірілген шарттар сақталса, таңдап алған салдар класына қарамастан жобалаушы осы құралдың 14 жобалаудың жеңілдетілген әдісін қолдануға құқығы бар.

4.2.2.2 1 Салдар классы

4.2.2.2.1 1 салдар классына жататаны резервуарлар үшін негізгі кернеулерді анықтау үшін мембрандық (моментсіз) теорияны қолдану ұсынылған. Салдардың осы классы үшін симметриялық емес әсерлер мен локальды бүгілуді есептеудегі ескеруді жеңілдетілген есептеу әдістерін қолдана отырып ескеру ұсынылған.

4.2.2.3 2 Салдар классы

4.2.2.3.1 2 салдар классты резервуарлар үшін осесимметриялық әсерлер (кернеулер) мен бекіту шарттары кезінде есептеудің екі әдісінің бірін қолдануға болады:

а) Негізгі кернеулерді анытау үшін мембранды (моментсіз) теориясы қолданылады, ал локальды эффектілерді ескеру үшін, оның ішінде шеттік эффектіні ескеру үшін - моментті теория қолданылады.

б) Есептеудің сандық әдістерін қолдануға болады (мысалы, ақырғы элементтер әдісіне негізделген бағдарламалық кешендер), бұл қолданылатын бағдарламалық өнімдер (әдістер, принциптер) алынатын нәтижелердің сенімділігін қамтамасыз ететін жағдайда ғана 1993-1-6 ҚР ҚН EN –де рұқсат берілген.

4.2.2.3.2 Симметриялық емес әсерлер кезінде, осы құралдың (3) және (4) тармақтарында аталған жағдайларынан басқа кезде есептеудің сенімді сандық әдістерін қолдануға болады.

4.2.2.3.3 Кернеудің айналымы бойынша біртіндеп өзгеретін резервуар конструкциясына әсер еткен жағдайда, жалпы бүгілуді ғана тудырғанда (гармониканың 1ші формасы), негізгі кернеулерді анықтау үшін мембранды (моментсіз) теорияны қолдануға болады.

4.2.2.3.4 Резервуарды желдік жүктемеге немесе фундаменттердің отыру жүктемесіне есептеу үшін жартылай мембранды немесе мембранды теорияны қолдануға болады.

ЕСКЕРТПЕ 1993-1-6 ҚР ҚН EN-де мембранды (моментсіз) теорияны қолдана отырып қабықты есептеудің негізгі мәліметтері келтірілген. Жартылай мембранды теория айналымдағы бүгілу қаттылығын ескергендегі мембрананың жұмысын сипаттайды.

4.2.2.3.5 Резервуарларда қабыққа бекітілген қосымша қаттылықтың сақиналы элементтері көп қолданылады. Мембранды теорияны қолдана отырып қабық конструкциясын есептеу кезінде, осындай сақиналы элементтер үшін олардың тиімді ауданына қосылған сақиналы элементтен $0.78\sqrt{rt}$ жоғары немесе төмен ұзындықты қабықтың учаскелерін қамтиды.

4.2.2.3.6 Қаттылық қабырғалар $5\sqrt{rt}$ артық емес адыммен қабық бойынша орналасқан жағдайда, осы қабырғаларды қабық есебінде қабыққа «жағылғандар» ретінде ескеруге болады (қабық пен қабырғалардың біріккен жұмысы ескеріледі). Бұл жағдайда қабықтағы және қаттылық қабырғаларындағы кернеуді олардың біріккен жұмысын ескере отырып анықтауға болады.

4.2.2.3.7 Қабық пен қаттылық қабырғаларының біріккен жұмысы ескерілсе, онда қаттылық қабырғаларындағы кернеу олардың біріккен жұмысын ескере отырып анықтау қажет.

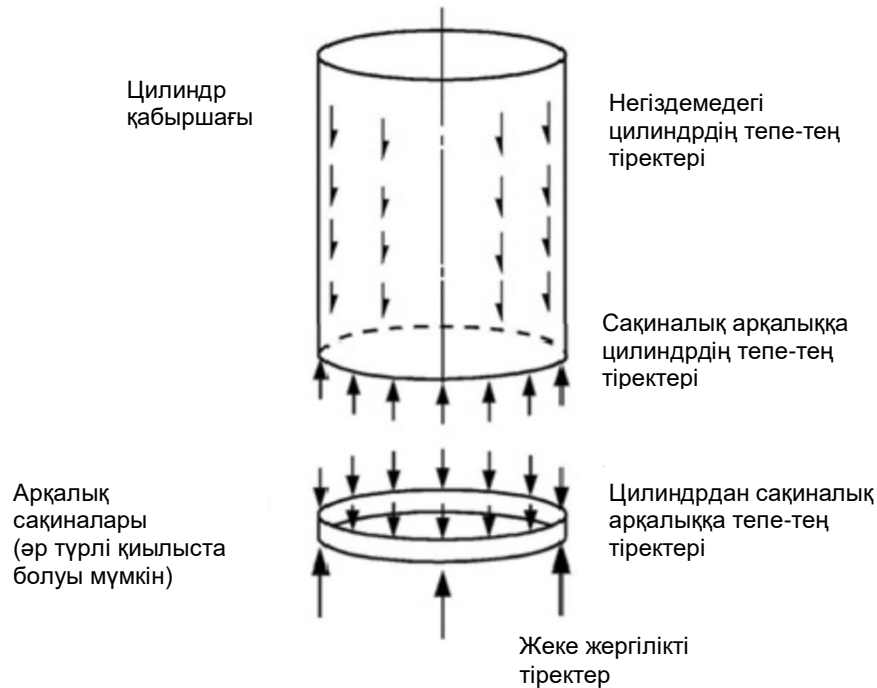
4.2.2.3.8 Егер сақиналық арқалық дискреттік тіреулерден жоғары монтаждalған болса, онда сақиналық арқалық пен қабықтың шектес сегменттері арасындағы деформацияның бірлескендігі ескерілуі тиіс (осы құралдың 4.1 Суретін қараңыз). Егер осындай сақиналық арқалық қоланылса, онда сақиналық арқалықтың ауырлық орталығының эксцентриситетін ескеру қажет.

4.2.2.3.9 Егер сақиналық арқалық беттік элементтерден жасалған қатты қораптық конструкция болса, онда қиылысудың вертикалды элементтері (қабырғалар) үшін қабырға енінің оның жуандығына (биіктігіне) деген қатынасы $b/t = 20$ мәнінен артық емес болуы тиіс.

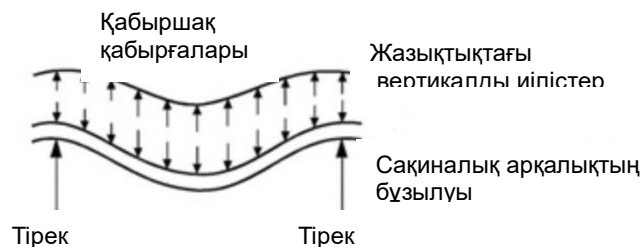
4.2.2.3.10 Дискретті тіреулерге немесе бұрандаларға жүктемені беру үшін немесе конструкция элементтерін дискретті (жеке нүктелерде) байланыстырғанда сақиналы

арқалықтарды қолданған кезде сақиналы арқалықтың және оғар тірелетін қабықтың деформациясының бірлескендігін ескеру қажет.

а)



б)



а – колонналардағы (дискретті тіреулердегі) резервуардың қарапайым есептік моделі;

б – арқалық деформациясының бірлескендігіне байланысты туындаған цилиндр деформациясы.

4.1 Сурет – Сақиналы арқалық пен қабық деформациясының бірлескендігі

4.2.2.4 3 Салдар классы

4.2.2.4.1 3 салдар классқа жататын резервуарлар үшін ішкі күштер және моменттер 1993-1-6 ҚР ҚН EN–де анықталғандай сенімді әдістер арқылы анықталуы тиіс (мысалы, қабықты ақырғы элементтер әдісімен зерттеу). Иілгіштік бойынша шектік жағдайды қарастыру (LS1) пластикалық бұзылулар кезіндегі мықтылықты ғана қарастырумен шектеле алады.

4.2.3 Геометрикалық кемшіліктерді ескеру

4.2.3.1 Қабықтың геометрикалық кемшіліктер 1993-1-6 ҚР ҚН EN–де ескертілген жіберілген шектер аяларда болуы тиіс.

4.2.3.2 2 және 3 салдар классына ататын резервуарлар үшін құрылыс аяқталғанан кейін геометрикалық кемшіліктерді бағалау және олардың көрсеткіштері жіберілген мәндерге сай екендігін тексеру қажет.

4.2.3.3 Егер бөлек ескертілмеген жағдайда, резервуарларды кәдімгі есептеген кезде қабықтың геометрикалық кемшіліктері ескерілмейді. Қабықтың геометрикалық кемшіліктерін геометрикалық (GNIA) және физикалық (GMNIA) сызықтық еместіктердің ескере отырып есептегенде ғана ескереді.

4.3 Тікбұрышты резервуардың қорабтық конструкциясын есептеу

4.3.1 Қорабтық конструкцияны модельдеу

4.3.1.1 Қабықты модельдеу кезінде 1993-1-7 ҚР ҚН EN–де келтірілген талаптар орындалуы тиіс, бірақ егер төменде келтірілген шарттар орындалса осы талаптар орындалды деп есептеуге болады.

4.3.1.2 Қабықты модельдеу кезінде қаттылықтың барлық қабырғалары, саңылаулар мен ойықтар, сонымен қатар қабыққа тірелетін барлық қосымша элементтер ескерілуі тиіс.

4.3.1.3 Есептік сұлбағадағы орнықтыру шарттары мен нақты қабылданған шешімдер бір біріне сәйкес болуы тиіс.

4.3.1.4 Қорабтық конструкция элементтерінің бір біріне тіркелу байламдарының конструктивт шешімдері модельдеу кезіндегі есептік сұлбада қабылданған есептік болжамдарған (алдын–ала ойлағандарға) сай болуы тиіс.

4.3.1.5 Келесі шарттарды орындаған жағдайда қорабтық конструкцияның әр элементі жеке қарастыруға рұқсат берілген:

а) қарастырылатын элементке көршілес элементтерден берілетін күштер мен моменттердің әсері ескерілген;

б) қарастырылып жатқан пластина үшін шектік шарттарда (тіреу орнықтырулары) көршілес элементтердің бүгілу қаттылығы ескерілген.

4.3.1.6 Жазық беттік элементті жеке тұрған (дискретті) қаттылық қабырғаларымен қатайту кезінде қаттылық қабырғалары мен сәйкес азық элементтегі кернеуді қаттылық қабырғаларын «жағылған» ретінде қарастыруға рұқсат берілген. Бұл кезде, қаттылық қабырғаларының арасындағы арақашықтық $n_s t$ артық емес болуы тиіс, мұндағы n_s мәні Ұлттық Қосымша бойынша анықталады.

ЕСКЕРТПЕ 1993-4-2 ҚР ҚН EN–ң Ұлттық Қосымшасында 1993-4-2 EN–де ұсынылған $n_s = 40$ мәні қабылданған.

4.3.1.7 Қабырға мен қаттылық қабырғаларының біріккен жұмысын ескеру кезінде қаттылық қабырғаларындағы кернеу олардың эксцентриситтіне байланысты анықталуы тиіс, сонымен қатар қабырғадағы кернеудің әсерін ескеру қажет.

4.3.1.8 Қаттылық қабырғасының әр жағындағы плитаның есептік ені $p_{ew}t$ артық емес деп алынады, мұндағы t – қаттық қабырғасы тірелетін жердегі плитаның жуандығы, ал p_{ew} мәні Ұлттық Қосымшаға сәйкес анықталады.

ЕСКЕРТПЕ 1993-4-2 ҚР ҚН ЕН-ң Ұлттық Қосымшасында 1993-4-2 ЕН-де ұсынылған $p_{ew} = 15_s$ мәні қабылданған.

4.3.2 Геометрикалық кемшіліктерді ескеру

4.3.2.1 Қабықтың геометрикалық кемшіліктер 1993-1-7 ҚР ҚН ЕН-де ескертілген жіберілген шектер аяларда болуы тиіс.

4.3.2.2 Егер бөлек ескертілмеген жағдайда, резервуарларды кәдімгі есептеген кезде қабықтың геометрикалық кемшіліктері ескерілмейді.

4.3.3 Есептеу әдістері

4.3.3.1 Қорабтың беттік элементтеріндегі ішкі күштерді келесі әдістер арқылы анықтауға болады:

а) мембрандық күштердің статикалық теңдігі әдісімен және иілудің арқалықтың теориясымен;

б) бүгілу және созылудың сызықтық теориясы (моменттік теория) негізіндегі есеппен;

в) бүгілу және созылудың сызықтық емес теориясы негізіндегі есеппен.

4.3.3.2 1 салдар классына жататын резервуарлар үшін келесі әдісті қолдануға болады:

4.3.3.3 2 салдар классына жататын резервуарлар үшін симметриялы түрде жүктегенде (а) (1) тармағындағы әдісті қолдануға болады.

4.3.3.4 2 салдар классына жататын резервуарлар үшін симметриялы емес түрде жүктегенде осы құралдың б) немесе в) тармағындағы әдісті қолдануға болады.

4.3.3.5 3 салдар классына жататын резервуарлар үшін ішкі күштер мен моменттерді анықтау үшін осы құралдың б) немесе в) тармағындағы әдісті қолдануға болады.

4.4 Гофрирленген беттен жасалған қаптаманың эквивалентті ортотропты қасиеттері

4.4.1 Гофрирленген беттен жасалған қаптаманы есептеуді біркелкі ортотропты қабырғаға эквивалентті деп алып орындаған жөн.

4.4.2 Гофрирленген беттердің ортотроптық қасиеттерін есептеу 1993-4-1 ҚР ҚН ЕН-ң 4.4 Тармағында келтірілген нұсқамаларға сәйкес орындалуы тиіс. Алынған сипаттамаларды конструкцияның мықтылығы мен тұрақтылығын талдау үшін қолдануға болады.

5 ЦИЛИНДР ҚАБЫҚТАРДЫ ЖОБАЛАУ

5.1 Негізгі ережелер

5.1.1 Жалпы ережелер

5.1.1.1 1993-4-2 ҚР ҚН EN–ң 2 Бөлімінде көрсетілгендей, салмақ көтеру қабілеттігі бойынша негізгі есептік талаптар орындалатын етіп цилиндр қабықтың өлшемдерін алу қажет.

5.1.1.2 Цилиндр қабықтың сенімділігін 1993-1-6 ҚР ҚН EN–дегі талаптарды қолдана отырып бағалау қажет.

5.1.2 Қабырғаны құраудың негізгі принциптері

5.1.2.1 Шектік жағдайлар бойынша есептеуді орындау кезінде резервуардың цилиндр қабырғасының салмақ көтеру қабілеттігін 1993-1-6 ҚР ҚН EN–ң құрылыс нормаларында көрсетілген келесі критерийлер бойынша тексеру қажет:

- жалпы тұрақтылығы және статикалық тепе–теңдігі.
- LS1: пластикалық шектік жағдай
- LS2: цикликалық иілгіштік
- LS3: тұрақтылығын жоғалту
- LS4: шаршау

5.1.2.2 1993-4-2 ҚР ҚН EN–де көрсетілген талаптар қамтамасыз етілген жағдайлардан басқа кезде, цилиндр қабықтың қабырғасы 1993-1-6 ҚР ҚН EN–ң талаптарына сай болуы тиіс.

5.1.2.3 1 салдар классты резервуарларда циклдық иілгіштік және шаршаудың шектік жағдайлары бойынша салмақ көтеру қабілеттігін тексермеуге болады.

5.2 Цилиндр қабықтар түрлері

5.2.1 Жазық прокат болат беттерінен жасалған цилиндр қабықтары «изотропты» деп аталады (1993-4-1 ҚР ҚН EN–ң 5.3.2 Тармағын қараңыз).

5.2.2 Гофрирленген беттерден жасалған цилиндр қабығы «горизонтальды гофрирленген» деп аталады (1993-4-1 ҚР ҚН EN–ң 5.3.4 Тармағын қараңыз).

5.2.3 Сыртқы жағынан орналастырылған қаттылық қабырғалары бар цилиндр қабығы «сыртқы қабырғалары бар» деп жіктеледі (1993-4-1 ҚР ҚН EN–ң 5.3.3 Тармағын қараңыз).

5.3 Резервуар қабырғасының салмақ көтеру қабілеттігі

5.3.1 Егер 1993-4-2 ҚР ҚН ЕН–ң 5.4 Тармағында ескертілмеген болса, цилиндр қабықтарды 1993-1-6 ЕН–дегі нұсқауларға сәйкес есептеу қажет.

5.3.2 14015 ЕН немесе 14620 ЕН талаптар орындалған жағдайда, түйісудегі пісірілген тігістердің тұтастығы және өткізбеушілігі қамтамасыз етілген деп есептеуге болады.

5.3.3 Конструкцияның басқа да түрлі қосылыстары 1993-1-8 ЕН–ге сәйкес болуы тиіс.

1 МЫСАЛ Цилиндр резервуардың изотропты қабырғасын есептеу

1 Бастапқы берілгендері

Мысалға «10000 куб.м көлемді, мұнай және мұнай өнімдеріне арналған вертикалық цилиндр болат резервуар» 704-1-170.84 типтік бағдарламасы бойынша 10000 м³ номиналды көлемді болат резервуарды алайық. Осы резервуар үшін 1993-4-2 ҚР ҚН ЕН–ге сәйкес келесілерді орындаймыз:

- а) жүктемелерді жинақтау;
- б) кернеулі жағдайдағы компоненттерді анықтау үшін сандық есептеу;
- в) 1993-4-2 ҚР ҚН ЕН–ң 5 Бөліміндегі нұсқаулықтарға сәйкес цилиндр қабырғасын тексеріп есептеу.

1.1 Резервуар көрсеткіштері

Резервуар радиусы $r = 14,250$ м, диаметрі $d = 2 \cdot r = 2 \cdot 14,25 = 28,5$ м, қабырға биіктігі $H = 18$ м, қабырға белдіктерінің биіктігі $h = 2$ м, белдіктер жуандығының бөлінуі (типтік жобаға сәйкес) 12-9-8-7-6-6-6-6-6 (бірінші белдіктен бастап), жабын – сфералық (көтеру сызығы $f = 1$ м)

Резервуардың сұлбасы 1 Суретінде көрсетілген.

1.2 Резервуар сипаттамасы

- а) номиналды көлем – 10000 м³;
- б) сақталатын өнімнің типі – бензол;
- в) қуы биіктігі – 16,5 м;
- г) салдар классы – 2 1993-4-2 ҚР ҚН ЕН–ң 2.2(3) Тармағы бойынша.

2 Резервуарға жүктемелерді жинақтау

Резервуарды Есептеу және жобалау кезінде ескеруі қажет жүктемелердің тізімі 1993-4-2 ҚР ҚН ЕН–ң А Қосымшасындағы А.2.1–А.2.14 Тармақтарында келтірілген. Егер резервуарды есептеу және жобалау кезінде 1993-4-2 ҚР ҚН ЕН–ң 11 Бөліміне сәйкес жеңілдетілген әдіс қолданылса, онда жүктемелер тізімі 1993-4-2 ҚР ҚН ЕН–ң 11.1 Тармағында ескертілген шектеулерге сәйкес болуы тиіс.

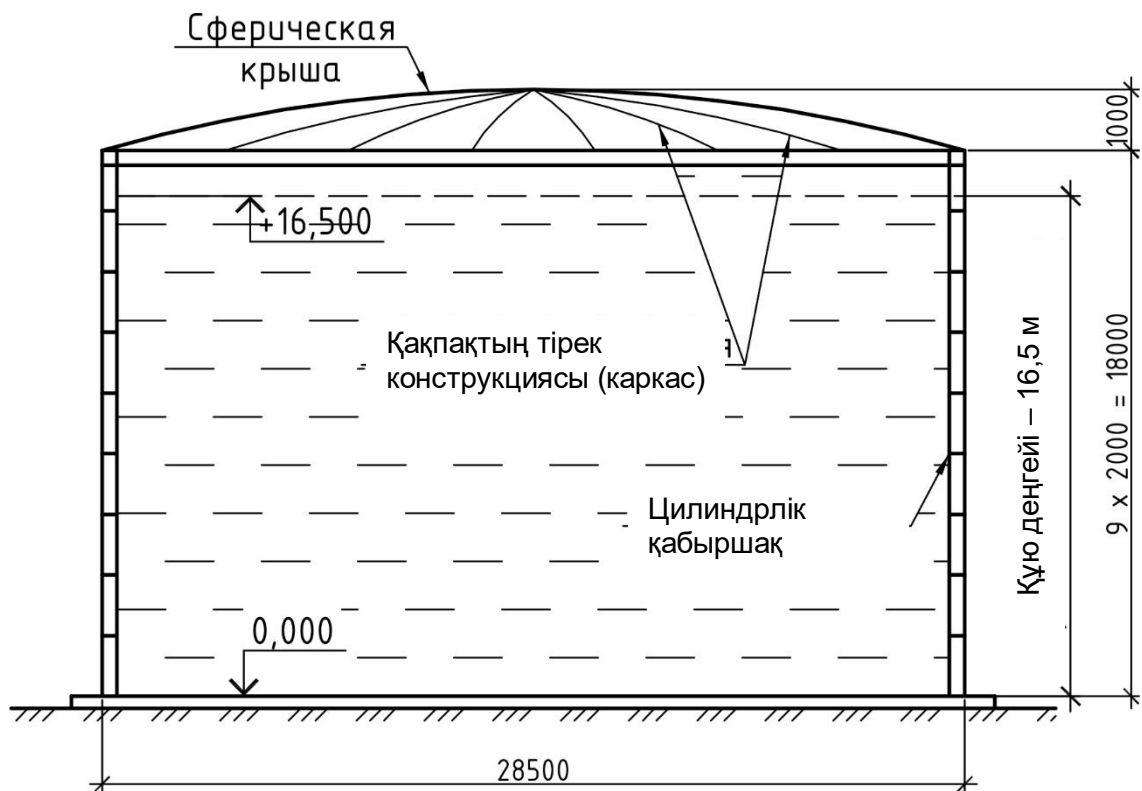
2.1 Гидростатикалық жүктеме 1991-4 ҚР ҚН ЕН–ң 7 Бөліміндегі нұсқамаларға сәйкес есептеледі. Сұйықтық қысымының сипаттамалық мәні 1991-4 ҚР ҚН ЕН–ң 7.1 Формуласы бойынша анықталады:

$$p(z) = \gamma z$$

мұндағы z – сұйықтық бетінің астындағы тереңдік;

γ – сақталатын сұйықтықтың салыстырмалы салмағы, 1991-1-1 ҚР ҚН ЕН–ң А Қосымшасы (А.10 Кестесі) бойынша қолданылады; $\gamma = 8,8$ кН/м³.

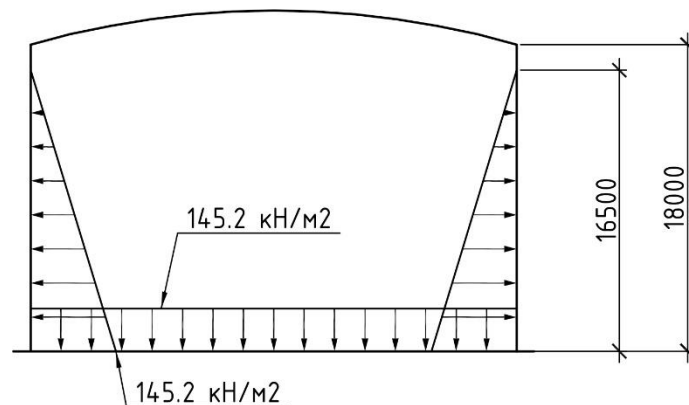
Гидростатикалық қысымнан болатын жүктеменің қабылданған сұлбасы 1 Кестеде (әр белдік бойынша мксималды, минималды және орташа мәндері) және 2 Суретте көрсетілген.



1 Сурет – Резервуар сұлбасы

1-кесте – Резервуар қабырғасына түсетін гидростатикалық жүктеме

Белдік нөмірі	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Белдік асыты деңгейіндегі гидростатикалық қысым, кН/м^2	145,2	127,6	110,0	92,4	74,8	57,2	39,6	22,0	4,4



2 Сурет – Гидростатикалық салынған жүктеменің сұлбасы

2.2 Ішкі (артық) қысымнан болатын жүктеме – 50 кПа.

2.3 Температуралық әсерлерді ескеру қажеттілігі – жоқ.

2.4 Өзінің салмағынан түсетін жүктеме 1991-1-1 ҚР ҚН ЕН–гі нұсқамаларға сәйкес анықталады. 1991-1-1 ЕН–ң 5.1 (4) Тармағына сәйкес өзінің салмағынан түсетін жүктемелерге (резервуардың құрылыс конструкцияларының өзінің салмағынан басқа), сонымен қатар қосымша

конструкциялар мен резервуарға бекітілген технологиялық құрылғылардың салмақтары ескерілуі тиіс.

Жабынға салынатын жүктеме – 1 кПа, оның ішінде:

– өзінің салмағынан – 0,4 кПа;

– технологиялық құрылғының салмағынан – 0,4 кПа.

Қабырғаға салынатын жүктеме – 0,6 кПа.

Жабынға салынатын жүктеме – 0,4 кПа.

2.5 Изоляциядан болатын жүктемелер – жоқ.

2.6 Қардың жүктемесі – 1991-1-3 ҚР ҚН EN–гі нұсқамаларға сәйкес анықталады; мысалда есептік мән 1,4 кПа қабылданған, жүктеме жабын бойынша біркелкі таралғанға тең етіп алынған.

2.7 Жел түсіретін жүктеме – 1991-4-2 ҚР ҚН EN–ң А Қосымшасында келтірілген түсініктермен бірге 1991-1-4 ҚР ҚН EN–гі нұсқаулықтарға сәйкес анықталады. Резервуарға желдің түсіретін жүктемесін есептеу – 2.12 Тармағын қараңыз.

2.8 Вакуум – жоқ.

2.9 Құрылғының қосымша әсерінен болатын жүктеме (1991-4-2 ҚР ҚН EN А.2.12 Тармағы) СП РК EN) – ескерілмейді.

2.10 Біркелкі емес отырғызудан болатын жүктеме – ескерілмейді.

2.11 Апаттық жүктемелер – ескерілмейді.

2.12 Цилиндр резервуар конструкциясына желдің түсіретін жүктемесін есептеу

2.12.1 Бастапқы берілгендер.

Цилиндр резервуардың биіктігі $H = 18,0$ м;

Резервуар диаметрі $d_c = 28,5$ м;

Ауа тығыздығы $\rho = 1,25$ кг/м³ (1991-1-4 ҚР ҚН EN–ң 4.5(1) Тармағындағы 2 Ескертуді қараңыз);

Беттің түрі – ашық түсті беті бар болат.

Беттің эквивалентті кедір-бұдырлығы (1991-1-4 ҚР ҚН EN 7.13-кестесі) $k = 0,05$ мм.

Резервуар конструкциясы шартты түрде бірнеше бөлікке (сегментке) бөлінеді. Әр бөлік аясындағы жел жүктемесі біркелкі таралған деп алынады. Бөлінген сегменттер саны жобада $n_\theta = 12$. Биіктігі бойынша бөлінген бөліктер саны $n_h = 9$. Резервуар сұлбасы 3 Суретінде көрсетілген.

2.12.2 Цилиндр резервуардың қабырғасына түсетін жел жүктемесін есептеу

Есептеуді 1991-1-4 ҚР ҚН EN–ң 5.3 Тармағындағы нұсқаулықтарға сәйкес орындайды. Желдің жүктемесі 1991-1-4 ҚР ҚН EN–ң 5.3 Формуласы бойынша анықталады:

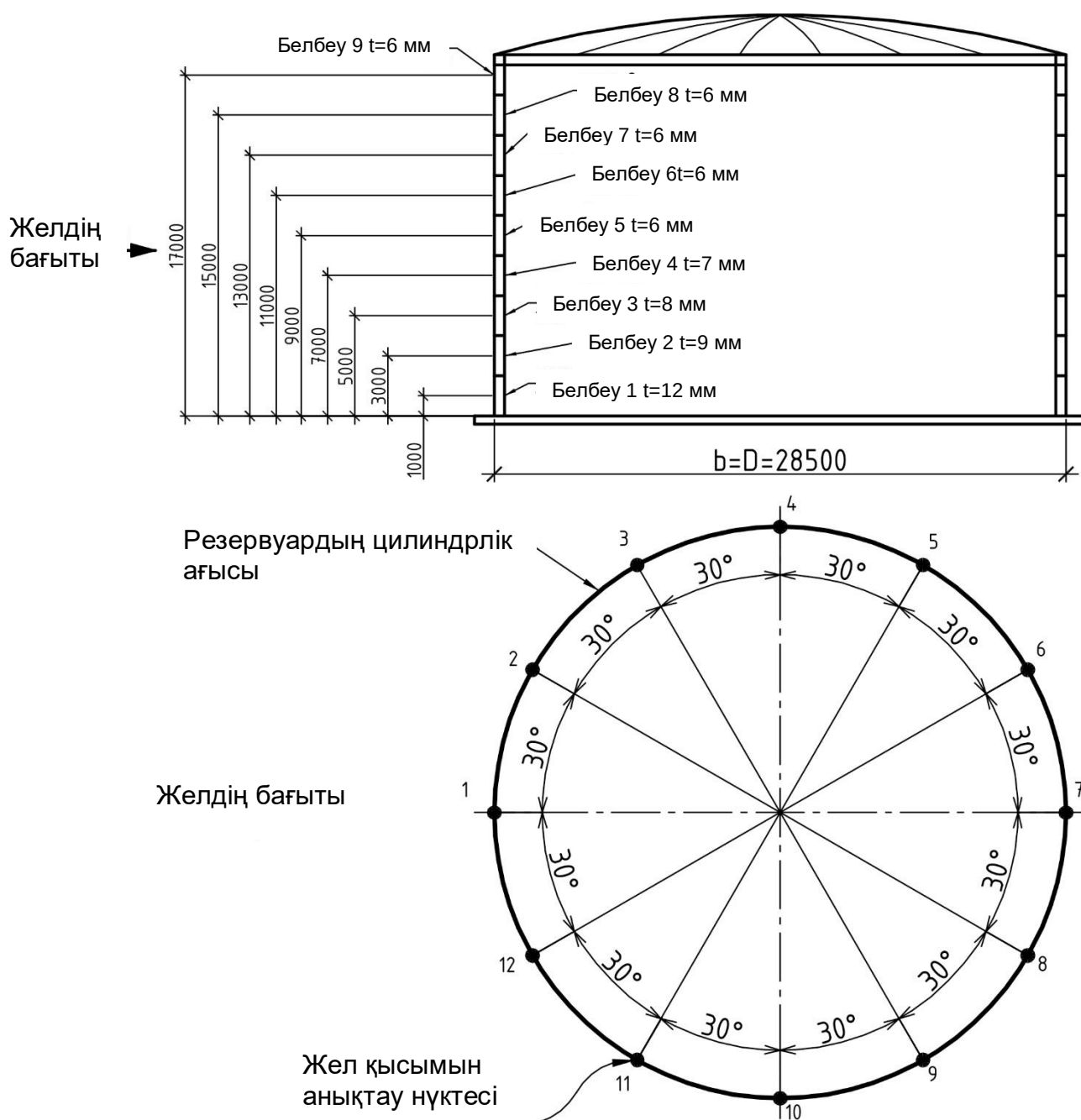
$$F_w = c_s \cdot c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref},$$

мұндағы $c_s c_d$ – конструкциялық коэффициент, 1991-1-4 ҚР ҚН EN–ң 6 Бөліміндегі нұсқамаларға сәйкес болады; осы мысалда $c_s c_d = 1$ алынған.

c_f – күштік коэффициент, 1991-1-4 ҚР ҚН EN–ң 7 Бөліміндегі нұсқамаларға сәйкес алынған.

$q_p(z_e)$ – 1991-1-4 ҚР ҚН EN–ң 7 немесе 8 Тармағы бойынша z_e биіктілігіндегі жылдамдық күшінің шырқау мәні;

A_{ref} – конструкцияның немесе конструктивті элементтің негіздік ауданы.



3 Сурет – Жел жүктемесін анықтауға арналған резервуар сұлбасы

2.12.2.1 Аэродинамикалық коэффициенттерді есептеу

1991-1-4 ҚР ҚН ЕН–ң 7.1(1) Тармағына сәйкес жел жүктемесін есептеу кезінде келесі коэффициенттерді ескеру қажет:

а) ішкі және сыртқы қысым коэффициенттері (1991-1-4 ҚР ҚН ЕН–ң 7.1.1(1) Тармағын қараңыз);

б) иілгіш конструкцияларға арналған қысым коэффициенті (net pressure coefficients) (1991-1-4 ҚР ҚН ЕН–ң 7.1.1(2) Тармағын қараңыз);

в) үйкеліс коэффициенті (1991-1-4 ҚР ҚН ЕН–ң 7.1.1(3) Тармағын қараңыз);

г) күш коэффициенті (1991-1-4 ҚР ҚН ЕН–ң 7.1.1(4) Тармағын қараңыз).

2.12.2.2 Ішкі және сыртқы қысымдар коэффициенттері

Цилиндр қабықтарына арналған аэродинамикалық коэффициенттер 1991-4-2 ҚР ҚН ЕН–ң А Қосымшасында келтірілген нақтыламаларды ескере отырып 1991-1-4 ҚР ҚН ЕН–ң 7.2.9 (ішкі беттер үшін) және 7.9.1 (сыртқы беттер үшін) Тармақтарындағы нұсқамаларға сәйкес анықталады. Осы мысалда сыртқы беттер үшін ғана аэродинамикалық коэффициенттерді ғана анықтаймыз.

2.12.2.2.1 Рейнольдс санын 1991-1-4 ҚР ҚН ЕН–гі (7.15) Формула бойынша анықтаймыз:

$$Re = \frac{b \cdot v(z_e)}{\nu}$$

мұндағы b – резервуар диаметрі, $b = 28,5$ м;

ν – ауаның кинематикалық тұтқырлығы; $\nu = 15 \cdot 10^{-6}$ м²/с;

$v(z_e)$ – z_e биіктігіне байланысты 1991-1-4 ҚР ҚН ЕН–гі 7.27 Суретке берілген 2 Ескерту бойынша анықталатын жел жылдамдығының шыңылау мәні.

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot q_p}{\rho}}$$

q_p көлемі 4.8 Формуласы бойынша анықталады, және z биіктігіне тәуелді:

$$q_p(z) = c_e(z) \cdot q_b$$

$c_e(z)$ – биіктікке тәуелді коэффициент, және ол 1991-1-4 ҚР ҚН ЕН–гі 4.2 График бойынша анықталады;

q_b – 1991-1-4 ҚР ҚН ЕН–гі 4.10 Формуласы бойынша анықталатын базалық жел қысым:

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 6^2 = 22,5 \frac{\text{кг}}{\text{м} \cdot \text{с}^2}$$

v_b – 1991-1-4 ҚР ҚН ЕН–ң 4.2(2) Тармағындағы нұсқамаларға сәйкес анықталатын жел жылдамдығы; осы мысалда 6 м/с тең етіп алынған.

Жергілікті жер категориясы 3 қабылдаймыз (1991-1-4 ҚР ҚН ЕН–ң 4.1 Кестесін қараңыз) және $c_e(z)$ мәнін 1991-1-4 ҚР ҚН ЕН–гі 4.2 График бойынша анықтаймыз.

1-ші белдік үшін

$$q_p(z_1) = c_e(z_1) \cdot q_b = 1,28 \cdot 22,5 = 28,8 \frac{\text{кг}}{\text{м} \cdot \text{с}^2}$$

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot q_p(z_1)}{\rho}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 28,8}{1,25}} = 6,788 \text{ м/с}$$

$$Re(z_1) = \frac{b \cdot v(z_e)}{\nu} = \frac{28,5 \cdot 6,788}{15 \cdot 10^{-6}} = 12,90 \cdot 10^6$$

Резервуардың басқа белдіктері үшін Re мәні осы ияқты анықталады.

Резервуардың әр түрлі белдіктері үшін Рейнольдс санын Re анықтаудың нәтижелері 2 Кестеде келтірілген.

2.12.2.2.2 Қысым коэффициенттерін анықтау

Қысым коэффициенттері 1991-1-4 ҚР ҚН ЕН–гі (7.16) Формуласы бойынша анықталады:

$$c_{pe} = c_{p,0} \cdot \psi_{\lambda\alpha}$$

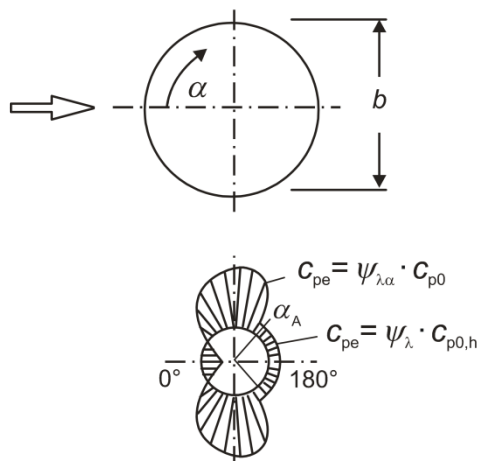
мұндағы $c_{p,0}$ – құйындауды ескерегендегі қысым коэффициенті; α бұрышына байланысты 1991-1-4 ҚР ҚН ЕН–гі 7.27 график бойынша анықталады;

$\psi_{\lambda\alpha}$ – құйындауды ескеретін қысым коэффициенті; 1991-1-4 ҚР ҚН ЕН–гі 7.17 Формуласы бойынша анықталады.

2-кесте – Резервуар белдіктеріне арналған Рейнольдс санының мәндері

Белдік №	Белдік ортасындағы белгі z_e , м	$c_e(z)$	$q_p(z)$, кг/мс ²	Желжылдамдығының шыңынау мәні $v(z_e)$, м/с	Рейнольдс саны Re , 10 ⁶
1	1	1,28	28,8	6,788	12,90
2	3	1,28	28,8	6,788	12,90
3	5	1,28	28,8	6,788	12,90
4	7	1,45	32,625	7,225	13,73
5	9	1,68	37,8	7,777	14,78
6	11	1,73	38,925	7,892	14,99
7	13	1,86	41,85	8,183	15,55
8	15	1,98	44,55	8,443	16,04
9	17	2,07	46,575	8,632	16,40

Есепті айналым бұрышы $\Delta\alpha = 30^\circ$ тең деп алып орындаймыз. Қосымша мәндерді $\alpha_{\min}$ (минимальды мәні) және α_A (1991-1-4 ҚР ҚН EN–гі 7.17 Формулань және 7.27 Суретін қараңыз) бұрыштары үшін анықтаймыз. 7.27 Суреті бойынша $\alpha_{\min} = 75^\circ$ және $\alpha_A = 100^\circ$ мәндерін қабылдаймыз.



4 Сурет – Қысым коэффициенттерін есептеу

$\psi_{\lambda\alpha}$ мәнін есептеу кезінде, алын ала ψ_λ мәнін анықтаймыз, ол келесідей анықталады.

Бұрыштың α әр түрлі мәндері үшін c_{pe} мәнін анықтаймыз.

$\alpha = 0^\circ$ болғанда

$$c_{p,0} = +1,0$$

$$\psi_{\lambda\alpha} = 1$$

$$c_{pe} = c_{p,0} \cdot \psi_{\lambda\alpha} = (+1,0) \cdot 1 = +1,0$$

$\alpha = 30^\circ$ болғанда

$$c_{p,0} = +0,1$$

$$\psi_{\lambda\alpha} = 1$$

$$c_{pe} = c_{p,0} \cdot \psi_{\lambda\alpha} = (+0,1) \cdot 1 = +0,1$$

$\alpha = 60^\circ$ болғанда

$$c_{p,0} = -1,2$$

$$\psi_{\lambda\alpha} = 1$$

$$c_{pe} = c_{p,0} \cdot \psi_{\lambda a} = (-1,2) \cdot 1 = -1,2$$

$\alpha = 75^0$ болғанда

$$c_{p,0} = -1,4$$

$$\psi_{\lambda a} = \psi_{\lambda} + (1 - \psi_{\lambda}) \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} \cdot \left(\frac{\alpha - \alpha_{\min}}{\alpha_A - \alpha_{\min}}\right)\right) = 0,92 + (1 - 0,92) \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} \cdot \left(\frac{75^{\circ} - 75^{\circ}}{100^{\circ} - 75^{\circ}}\right)\right) = 1$$

$$c_{pe} = c_{p,0} \cdot \psi_{\lambda a} = (-1,4) \cdot 1 = -1,4$$

$\alpha = 90^0$ болғанда

$$c_{p,0} = -1,3$$

$$\begin{aligned} \psi_{\lambda a} &= \psi_{\lambda} + (1 - \psi_{\lambda}) \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} \cdot \left(\frac{\alpha - \alpha_{\min}}{\alpha_A - \alpha_{\min}}\right)\right) = 0,92 + (1 - 0,92) \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} \cdot \left(\frac{90^{\circ} - 75^{\circ}}{100^{\circ} - 75^{\circ}}\right)\right) \\ &= 0,9670 \end{aligned}$$

$$c_{pe} = c_{p,0} \cdot \psi_{\lambda a} = (-1,3) \cdot 0,9670 = -1,257$$

$\alpha = 100^0$ болғанда

$$c_{p,0} = -0,8$$

$$\psi_{\lambda a} = \psi_{\lambda} + (1 - \psi_{\lambda}) \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} \cdot \left(\frac{\alpha - \alpha_{\min}}{\alpha_A - \alpha_{\min}}\right)\right) = 0,92 + (1 - 0,92) \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} \cdot \left(\frac{100^{\circ} - 75^{\circ}}{100^{\circ} - 75^{\circ}}\right)\right) = 0,92$$

$$c_{pe} = c_{p,0} \cdot \psi_{\lambda a} = (-0,8) \cdot 0,92 = -0,736$$

$\alpha = 120^0$ болғанда

$$c_{p,0} = -0,8$$

$$\begin{aligned} \psi_{\lambda a} &= \psi_{\lambda} + (1 - \psi_{\lambda}) \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} \cdot \left(\frac{\alpha - \alpha_{\min}}{\alpha_A - \alpha_{\min}}\right)\right) = 0,92 + (1 - 0,92) \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} \cdot \left(\frac{120^{\circ} - 75^{\circ}}{100^{\circ} - 75^{\circ}}\right)\right) \\ &= 0,8439 \end{aligned}$$

$$c_{pe} = c_{p,0} \cdot \psi_{\lambda a} = (-0,8) \cdot 0,8439 = -0,6751$$

$\alpha = 150^0$ болғанда

$$c_{p,0} = -0,8$$

$$\psi_{\lambda a} = \psi_{\lambda} + (1 - \psi_{\lambda}) \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} \cdot \left(\frac{\alpha - \alpha_{\min}}{\alpha_A - \alpha_{\min}}\right)\right) = 0,92 + (1 - 0,92) \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} \cdot \left(\frac{150^{\circ} - 75^{\circ}}{100^{\circ} - 75^{\circ}}\right)\right) = 0,92$$

$$c_{pe} = c_{p,0} \cdot \psi_{\lambda a} = (-0,8) \cdot 0,92 = -0,736$$

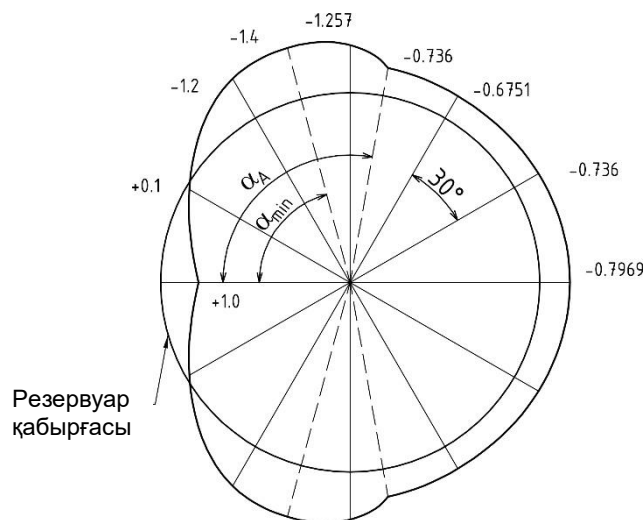
$\alpha = 180^0$ болғанда

$$c_{p,0} = -0,8$$

$$\begin{aligned} \psi_{\lambda a} &= \psi_{\lambda} + (1 - \psi_{\lambda}) \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} \cdot \left(\frac{\alpha - \alpha_{\min}}{\alpha_A - \alpha_{\min}}\right)\right) = 0,92 + (1 - 0,92) \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} \cdot \left(\frac{180^{\circ} - 75^{\circ}}{100^{\circ} - 75^{\circ}}\right)\right) \\ &= 0,9961 \end{aligned}$$

$$c_{pe} = c_{p,0} \cdot \psi_{\lambda a} = (-0,8) \cdot 0,9961 = -0,7969$$

Резервуар айналымы бойынша c_{pe} коэффициенттерінің бөліну сұлбасы 5 Суретте көрсетілген.



5 Сурет – Резервуар айналымы бойынша c_{re} коэффициенттерінің бөліну сұлбасы

2.12.2.3 Иілгіш конструкцияларға арналған қысым коэффициенттері (net pressure coefficients)

1991-1-4 ҚР ҚН EN–ң 7.1.1(2) Тармағына сәйкес иілгіш конструкцияларға арналған қымыс коэффициенттері (net pressure coefficients) ткань навестер, тенттер, еркін тұрған қабырғалар, беттер, парапеттер және қашалар үшін ескерілуі тиіс. Резервуар үшін бұл коэффициент ескерілмейді.

2.12.2.4 Үйкеліс коэффициенттері – ескерілмейді.

2.12.2.5 Күш коэффициенттері c_f

Цилиндр қабыққа арналған күш коэффициенттері c_f 1991-1-4 ҚР ҚН EN–ң 7.9.2 Тармағындағы нұсқаулықтарға сәйкес анықталады.

Күш коэффициенттері 1991-1-4 ҚР ҚН EN–гі 7.19 Формула бойынша анықталады.

$$c_f = c_{f,0} \cdot \psi_\lambda$$

мұндағы $c_{f,0}$ – құйындауды ескермегендегі тұрақты күш коэффициенті; Рейнольдс саны (2.1.1 Тармағын қараңыз) және k/b қатынасына байланысты 1991-1-4 ҚР ҚН EN–гі 7.28 График бойынша анықталады;

ψ_λ – ауаның құйындауын ескеретін коэффициент; λ (1991-1-4 ҚР ҚН EN–гі 7.16 Кестені қараңыз) мәндеріне және φ (1991-1-4 ҚР ҚН EN–гі (7.28) Формулань қараңыз).

k/b қатынасын анықтаймыз.

10^7 артық Рейнольдс саны болғанда, онда қатынас

$$\frac{k}{b} = \frac{0,05}{28,5} = 1,754 \cdot 10^{-3}$$

$c_{f,0}$ коэффициентін сызықтық интерполяция көмегімен анықтаймыз

$$c_{f,0}(R_e = 10^{-2}) = 1,07 \quad c_{f,0}(R_e = 10^{-3}) = 0,94$$

$$c_{f,0}(R_e = 1,754 \cdot 10^{-3}) = \frac{1,07 - 0,94}{10^{-2} - 10^{-3}} \cdot (1,754 \cdot 10^{-3} - 10^{-3}) + 0,94 = 0,9509$$

ψ_λ анықтаймыз.

$\varphi = 1$ деп аламыз (себебі, резервуар проекциясының ауданы жел ағынында тұрған резервуар элементтері ауданының сомасына тең).

λ мәнін 1991-1-4 ҚР ҚН EN–гі 7.16 Кесте бойынша анықтаймыз. 7.16 Кестедегі 4 Тармақ және резервуардың жалпы биіктігі 19 м үшін кестеде кеңес берілгендей сызықтық интерполяцияны қолданамыз.

$b = 28,5$ м және $l = 19$ м болғанда:

$$l = 50 \text{ м үшін } \lambda_{50} = 0,7 \cdot \frac{l}{b} = 0,7 \cdot \frac{50}{28,5} = 1,228 < 70$$

$\lambda_{50} = 70$ қабылдаймыз.

$$l = 15 \text{ м үшін } \lambda_{15} = \frac{l}{b} = \frac{15}{28,5} = 0,526 < 70$$

$\lambda_{15} = 70$ қабылдаймыз.

Соңында $\lambda = 70$ қабылдаймыз

1991-1-4 ҚР ҚН ЕН-гі 7.36 Графигі бойынша $\lambda = 70$ әне $\varphi = 1$ болғанда $\psi_\lambda = 0,92$ қабылдаймыз.

c_f күш коэффициенті:

$$c_f = c_{f,0} \cdot \psi_\lambda = 0,9509 \cdot 0,92 = 0,8748$$

2.12.2.6 z_e $q_p(z_e)$ биіктігіндегі жел жылдамдығының шыңылау жүктеме мәні– 2.1.1.1 Тармағы бойынша анықталған Рейнольдс санына аламыз.

2.12.2.7 Негізгі ауданды есептеу

Конструктивті элементтің негізгі ауданын 1991-1-4 ҚР ҚН ЕН-гі 7.9.2 Тармақ, (7.20) Формуласы бойынша анықтаймыз:

$$A_{ref} = l \cdot b = 2 \cdot 28,5 = 57 \text{ м}^2$$

мұндағы l – сегмент биіктігі; $l = 2$ м.

2.12.2.8 Конструкцияға немесе жалпы сегменте әсер ететін жел жүктемесін есептеу

$$F_w = c_s \cdot c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref} = 1 \cdot 0,8748 \cdot q_p(z_e) \cdot 57 = 49,86 \cdot q_p(z_e)$$

1-ші белдік

$$F_{w1} = 49,86 \cdot q_p(z_e) = 49,86 \cdot 28,8 = 1436 \text{ кг} = 14,36 \text{ кН}$$

2-ші белдік

$$F_{w2} = 49,86 \cdot q_p(z_e) = 49,86 \cdot 28,8 = 1436 \text{ кг} = 14,36 \text{ кН}$$

3-ші белдік

$$F_{w3} = 49,86 \cdot q_p(z_e) = 49,86 \cdot 28,8 = 1436 \text{ кг} = 14,36 \text{ кН}$$

4-ші белдік

$$F_{w4} = 49,86 \cdot q_p(z_e) = 49,86 \cdot 32,625 = 1627 \text{ кг} = 16,27 \text{ кН}$$

5-ші белдік

$$F_{w5} = 49,86 \cdot q_p(z_e) = 49,86 \cdot 37,8 = 1885 \text{ кг} = 18,85 \text{ кН}$$

6-ші белдік

$$F_{w1} = 49,86 \cdot q_p(z_e) = 49,86 \cdot 38,925 = 1941 \text{ кг} = 19,41 \text{ кН}$$

7-ші белдік

$$F_{w1} = 49,86 \cdot q_p(z_e) = 49,86 \cdot 41,85 = 2087 \text{ кг} = 20,87 \text{ кН}$$

8-ші белдік

$$F_{w1} = 49,86 \cdot q_p(z_e) = 49,86 \cdot 44,55 = 2221 \text{ кг} = 22,21 \text{ кН}$$

9-ші белдік

$$F_{w1} = 49,86 \cdot q_p(z_e) = 49,86 \cdot 46,575 = 2322 \text{ кг} = 23,22 \text{ кН}$$

2.12.2.9 Сандық есептеуге арналған жел жүктемесін есептеу

Сандық есептеудегі ғимаратқа әсер ететін жел жүктемесі негізгі ауданды A_{ref} ескермейтін, 1991-1-4 ҚР ҚН ЕН-гі (5.3) Формула бойынша анықталатын жел жүктемеі болып табылады, яғни:

$$W = \frac{F_w}{A_{ref}} = c_s \cdot c_d \cdot c_{aer} \cdot q_p(z_e)$$

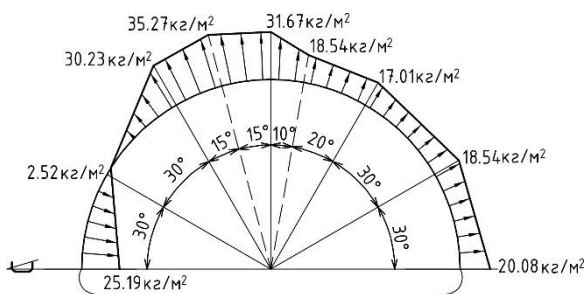
мұндағы $c_{aer} = c_p \cdot c_f$

Әр белдік бойынша аудан бірлігіне есептелген қысым 3 Кестеде көрсетілген.

Резервуар қабырғасына жүктелетін жел үктемесінің сұлбалары 6–12 Суреттерінде көрсетілген.

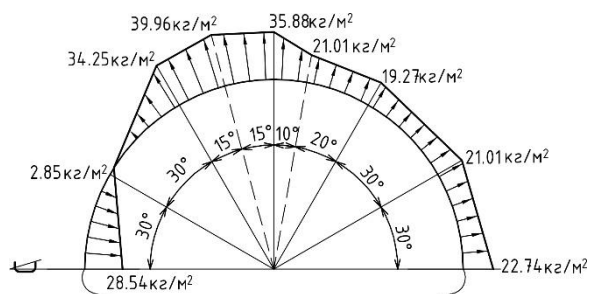
3-кесте – Жел жүктемесінен резервуар қабырғасына түсетін қысым

Белдік №	$q_p(z)$, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^2}$	Резервуар қабырғасына түсетін қысым, $\text{кг}/\text{м}^2$								
		Бұрыш								
		0°	30°	60°	75°	90°	100°	120°	150°	180°
		Коэффициент c_p								
		1	0.1	-1.2	-1.4	-1.257	-0.736	0.6751	-0.736	0.7969
1	28,8	25,19	2,52	-30,23	-35,27	-31,67	-18,54	-17,01	-18,54	-20,08
2	28,8	25,19	2,52	-30,23	-35,27	-31,67	-18,54	-17,01	-18,54	-20,08
3	28,8	25,19	2,52	-30,23	-35,27	-31,67	-18,54	-17,01	-18,54	-20,08
4	32,625	28,54	2,85	-34,25	-39,96	-35,88	-21,01	-19,27	-21,01	-22,74
5	37,8	33,07	3,31	-39,68	-46,29	-41,57	-24,34	-22,32	-24,34	-26,35
6	38,925	34,05	3,41	-40,86	-47,67	-42,8	-25,06	-22,99	-25,06	-27,14
7	41,85	36,61	3,66	-43,93	-51,25	-46,02	-26,95	-24,72	-26,95	-29,17
8	44,55	38,97	3,9	-46,77	-54,56	-48,99	-28,68	-26,31	-28,68	-31,06
9	46,575	40,74	4,07	-48,89	-57,04	-51,21	-29,99	-27,51	-29,99	-32,47



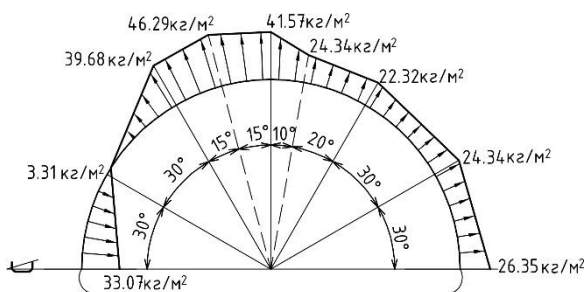
Резервуар қабырғасының осі Резервуар қабырғасының осі

6 Сурет – Резервуар қабырғасының 1-3 белдіктеріне түсірілген жел жүктемесінің сұлбасы



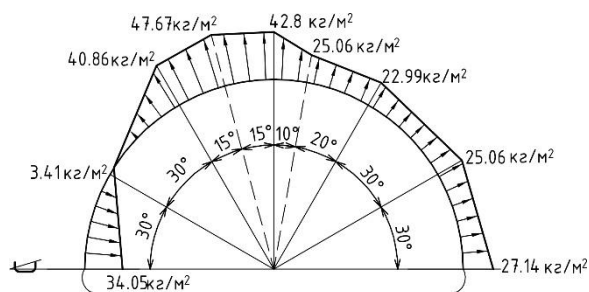
Резервуар қабырғасының осі Резервуар қабырғасының осі

7 Сурет – Резервуар қабырғасының 4-ші белдігіне түсірілген жел жүктемесінің сұлбасы



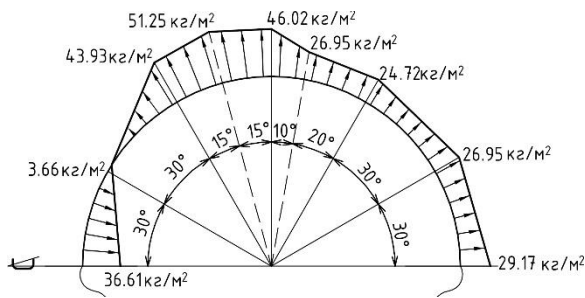
Резервуар қабырғасының осі Резервуар қабырғасының осі

8 Сурет – Резервуар қабырғасының 5-ші белдігіне түсірілген жел жүктемесінің сұлбасы



Резервуар қабырғасының осі Резервуар қабырғасының осі

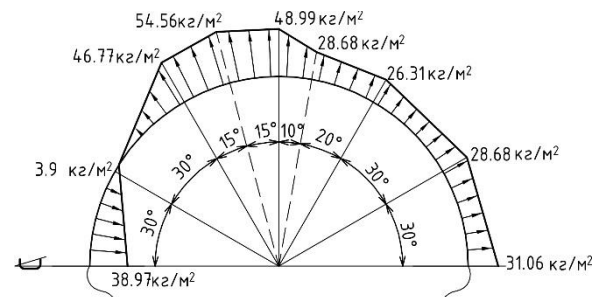
9 Сурет – Резервуар қабырғасының 6-шы белдігіне түсірілген жел жүктемесінің сұлбасы



Резервуар қабырғасының осі

Резервуар қабырғасының осі

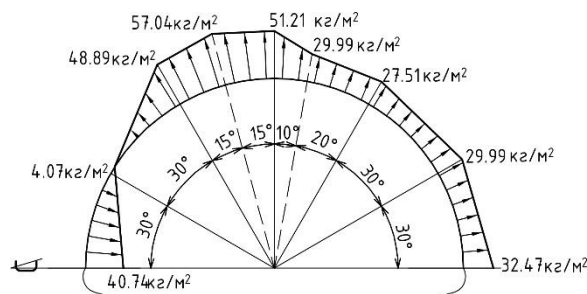
10 Сурет – Резервуар қабырғасының 7-ші белдігіне түсірілген жел жүктемесінің сұлбасы



Резервуар қабырғасының осі

Резервуар қабырғасының осі

11 Сурет – Резервуар қабырғасының 8-ші белдігіне түсірілген жел жүктемесінің сұлбасы



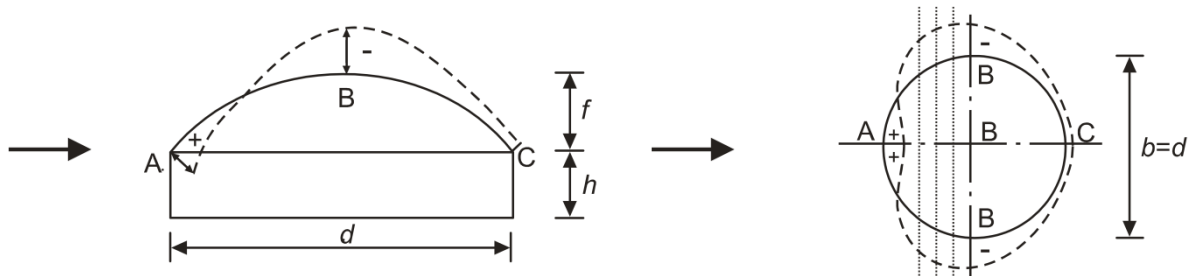
Резервуар қабырғасының осі

Резервуар қабырғасының осі

12 Сурет – Резервуар қабырғасының 9-шы белдігіне түсірілген жел жүктемесінің сұлбасы

2.12.3 Цилиндрлік резервуардың төбесіне түсетін желдік жүктеменің есебі

Резервуардың төбесіне түсетін желдік жүктеменің есебі, қысым коэффициентін c_{pe} анықтаудан басқа жағдайда, қабырғаға ұқсас есептеледі. Резервуардың төбесіне түсетін желдік жүктеменің қысым коэффициенттері c_{pe} резервуардың биіктігіне, диаметріне және көтеру жебесіне қарай ҚР ҚН EN 1991-1-4 нормативінің 7.2.8-тармағына сәйкес, ҚР ҚН EN 1991-1-4 7.12-кестесі бойынша анықталады. Резервуардың төбесі бойынша желдік жүктемені бөлу сұлбасы 13-серетте келтірілген.



13 Сурет. Резервуардың төбесі бойынша желдік қысымды бөлу сұлбасы

Резервуардың диаметрі $b = d = 28,5$ м, резервуардың биіктігі $h = 18$ м және резервуар төбесінің көтеру жебесі $f = 1$ м болған жағдайда ҚР ҚН EN 1991-1-4 7.12-суреті (кестесі) бойынша А, В және С коэффициенттерінің мәндері анықталады. Төмендегі қатынас бойынша:

$$h/d = 18/28,5 = 0,6316$$

$$f/d = 1/28,5 = 0,0351 \text{ қатынастары бойынша мәндері:}$$

$A = -1,4$, $B = -0,48$, $C = -0,48$ тең болады.

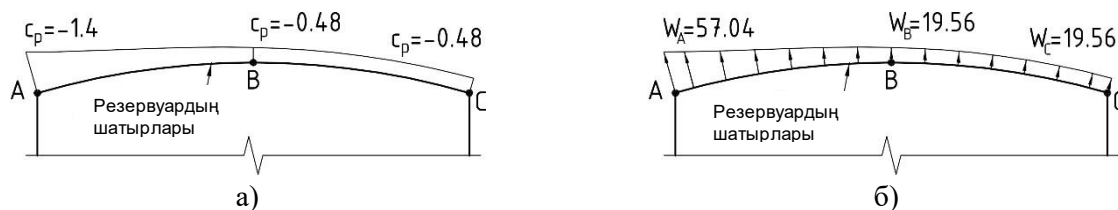
Тиісінше шекаралық нүктелердегі (төбенің шеттері мен ортасы бойынша) резервуар төбесіне түсетін жүктеменің мәндері:

$$W_A = c_s \cdot c_d \cdot c_f \cdot c_{pA} \cdot q_p(z_e) = 1 \cdot 0,8748 \cdot (-1,4) \cdot 46,575 = -57,04 \text{ кг/м}^2$$

$$W_B = c_s \cdot c_d \cdot c_f \cdot c_{pB} \cdot q_p(z_e) = 1 \cdot 0,8748 \cdot (-0,48) \cdot 46,575 = -19,56 \text{ кг/м}^2$$

$$W_C = c_s \cdot c_d \cdot c_f \cdot c_{pC} \cdot q_p(z_e) = 1 \cdot 0,8748 \cdot (-0,48) \cdot 46,575 = -19,56 \text{ кг/м}^2 \text{ құрайды.}$$

Резервуардың төбесіне түсетін желдік жүктеме қосымшасының сұлбасы 14-суретте келтірілген.



а) Қысым коэффициенттерінің бөлінуі; б) жүктеме мәндерінің бөлінуі (кг/м^2)

14 Сурет. Резервуардың қабырғасына түсетін желдік жүктеме қосымшасының сұлбасы

3 Есептеу жағдайлары

Есептеу жағдайлары (ықпал ету комбинациялары) В.4(1)Р тармағына сәйкес 6 ҚР ҚН EN 1990 6-тарауының жалпы талаптары бойынша қабылданады.

Сондай -ақ, ҚР ҚН EN 1993-4-2 2-тарауында көрсетілген үш есептеу жағдайының талаптары мен ұсыныстарын сақтау қажет (2.1-кестені қар.):

а) қалыпты пайдалану үдерісіндегі сұйықтықтан туындаған жүктемелер;

б) сынақ жүргізу үдерісінде сұйықтықтан туындаған жүктемелер;

в) оқыс (апаттық) жағдайлар.

Әрбір есептік жағдай үшін тиісті жеке сенімділік коэффициенттері белгіленген.

Осы үлгіде 1-есептік жағдай ғана (ҚР ҚН EN 1993-4-2 2.1.-кестесін қар.) «Қалыпты пайдалану үдерісіндегі сұйықтықтан туындаған жүктемелер». Сұйықтықтан туындаған жүктемелік мәндер согласно Пункту ҚР ҚН EN 1993-4-2 А.2.1.1 тармағына және и Пункту ҚР ҚН EN 1991-4 В.2.1(1)Р тармағына сәйкес нөлден ең жоғары мәнге дейін ауыспалы ретінде қабылданған.

Есептеу күшінің мәні ҚР ҚН EN 1990 (6.9b) формуласы бойынша анықталады:

$$N_p = \gamma_G N_G + \gamma_{Q1} N_{Q1} + \gamma_{Q2} N_{Q2} \psi_{0,2}$$

мұндағы, N_G — тұрақты жүктеменің күші;

N_{Q1} — негізгі ауыспалы жүктеменің күші;

N_{Q2} — ілеспе ауыспалы жүктеменің күші;

$\gamma_G, \gamma_{Q1}, \gamma_{Q2}, \psi_{0,2}$ — жүктемелер бойынша жеке сенімділік коэффициенттері.

Жүктемелер бойынша жеке сенімділік коэффициенттері γ_F ($\gamma_G, \gamma_{Q1}, \gamma_{Q2}$):

а) тұрақты жүктемелер үшін – ҚР ҚН EN 1993-4-2 2.1-кестесі бойынша $\gamma_F = 1,35$;

б) гидростатикалық жүктемелер үшін – ҚР ҚН EN 1991-4 В.3(2)тармағы бойынша $\gamma_F = 1,20$;

в) қарлы және желдік жүктемелер үшін – ҚР ҚН EN 1990 бойынша $\gamma_F = 1,50$ болып

қабылданған.

Үйлесімділік коэффициенттерінің мәндері ψ ҚР ҚН EN 1990 нұсқаулары мен ҚР ҚН EN 1991 тиісті бөлімдеріне сәйкес қабылданады. Осы үлгінің мақсаттары үшін Үйлесімділік коэффициенттерінің мәндері ψ ҚР ҚН EN 1990 А Қосымшасында ұсынылған мәндерге тең деп қабылданған:

- а) қарлы жүктемелер – $\psi_0 = 0,5$, $\psi_1 = 0,2$, $\psi_2 = 0,0$;
- а) желдік жүктемелер – $\psi_0 = 0,6$, $\psi_1 = 0,2$, $\psi_2 = 0,0$;

1 ЕСКЕРТПЕ ҚР ҚН EN 1991-4 В.3(2) тармағына сәйкес қалыпты пайдалану кезіндегі гидростатикалық жүктемелер үшін жеке сенімділік коэффициенті $\gamma_F = 1,20$ тең.

2 ЕСКЕРТПЕ ҚР ҚН EN 1993-4-2 2.1-кестеге сәйкес сұйықтық түріне қарай гидростатикалық жүктемелер үшін (1-есептік жағдай 2.1-кестеде) жеке сенімділік коэффициенті $\gamma_F = 1,20 \dots 1,40$ шегінде өзгеріп отырады.

Жоғарыда көрсетілген құжаттардың келісімін Ұлттық Қосымшалар деңгейінде орындау қажет.

Осы үлгінің мақсаттары үшін шартты түрде $\gamma_F = 1,20$ мәні қабылданған.

ҚР ҚН EN 1993-4-2 А Қосымшасына сәйкес осы үлгіде резервуарды пайдалану кезіндегі екі есептік жағдай қарастырылды – толтырылған және бос резервуар:

- а) «жеке салмағы + гидростатикалық жүктеме + артық қысым + қар»;
- б) «жеке салмағы + жел».

4 Тең әрекет ету кернеулерінің есебі

Резервуар конструкцияларының есебі осы көмекші құралдың 4.2.2.3.1-тармағының нұсқауларына сәйкес жүргізілді. Резервуар 2-салдарлар сыныбына жатқызылатындықтан, есеп Liga Soft ДК (осы көмекші құралдың 4.2.2.3.1, б тармағын қар.) пайдалану арқылы есептеудің сандық әдістері қолдана отырып орындалды.

4.1 Тең әсерлі кернеулерді анықтауға арналған СЭӘ қолданылуымен цилиндрлік резервуардың кеңістіктік есебі.

Резервуардың есептік сұлбасы 0.000 м белгісімен анықталған үш конструктивтік элементтен (сфералық төбе, цилиндрлі қабырғалар, тегіс түп) тұратын кеңістікті жұқа қабырғалы конструкцияны бейнелейді.

Резервуардың қабығының элементтерін модельдеу СЭ 44 (Liga ДК қабықтың әмбебап төртбұрышты соңғы элементі) қолдану арқылы жүргізілді.

Бункер элементтеріндегі кернеулерді анықтау ҚР ҚН EN 1991-4 және ҚР ҚН EN 1993-4-2 сәйкес қабылданған жеке сенімділік коэффициенттері жүктемелерінің екі есептік комбинациясында жүргізілді (3 тармақты қар.):

- 1- комбинация - «жеке салмағы + гидростатикалық жүктеме + артық қысым + қар»;
- 2 - комбинация - «жеке салмағы + жел».

Резервуардың элементтеріндегі кернеулерді анықтау әр комбинация үшін жүргізілді, бұл ретте жүктемелер үйлесімділік коэффициенттерімен бір мезгілде берілді.

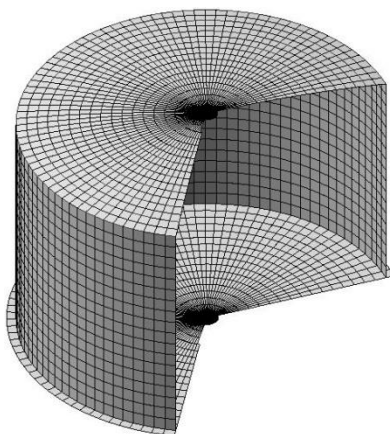
Резервуардың есептік сұлбасы 15-суретте, гидростатикалық жүктеме әрекетінен өзгеріске ұшыраған сұлба 16-суретте, желдік жүктеме әрекетінен өзгеріске ұшыраған сұлба 17-суретте, 1-комбинация бойынша өзгеріске ұшыраған сұлба 18-суретте, 2-комбинация бойынша өзгеріске ұшыраған сұлба 19-суретте көрсетілген.

Статикалық есептеу нәтижелері бойынша резервуар элементтеріндегі қалыпты кернеулер мен майысу сәттері алынды.

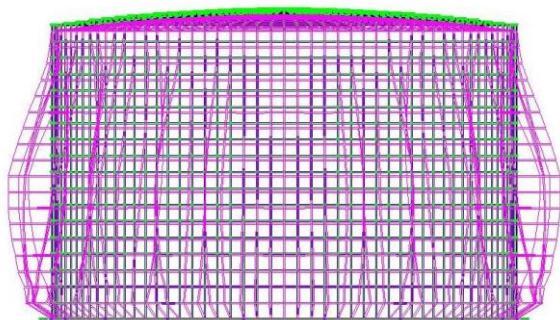
Бірінші есептеу комбинациясының жүктемелері әрекетінен болған цилиндр қабырғасындағы қалыпты сақиналық кернеулердің бөлінуі 20 а-суретте, екінші есептеу комбинациясының жүктемелерінен – 20 б-суретте келтірілген. Бірінші есептеу комбинациясының жүктемелері әрекетінен болған цилиндр қабырғасындағы қалыпты меридионалдық кернеулердің бөлінуі 21 а-суретте, екінші есептеу комбинациясының жүктемелерінен – 21 б-суретте келтірілген. Статикалық есептеу нәтижелері бойынша қабықтағы қалыпты кернеулер кН/см^2 алынған.

Кернеу мәндерінен ауысу үшін статикалық есептеу кезінде алынған (қабырғаның берілген қабырғалары үшін кернеу мәндері кН/см^2 алынған) бұдан былай резервуар қабырғасы элементтерінің беріктігі мен тұрақтылығын тексеру үшін кернеудің есептеу мәндері 4,5-кестелерде қалыптастырылды. Аталған кестелерге резервуардың жекелеген белдеулеріндегі ең жоғары кернеулер жазылды. Нәтижелер қабықтың нақты қалыңдығы кезіндегі кернеуден қабақ қалыңдығынан бір сантиметр артық кернеуге көшу арқылы қабықтың кернеулік жағдайындағы компоненттер түрінде берілді.

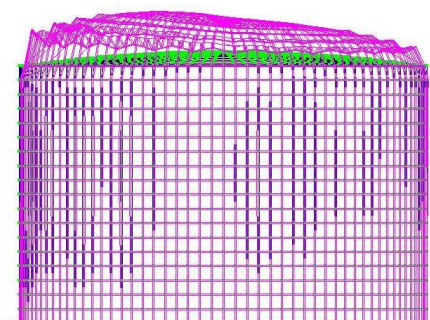
Резервуардың әр түрлі элементтері үшін ең жоғары кернеулер сәйкес келмейтін болғандықтан, қабық элементтеріндегі кернеулер екі есептеу комбинациясы үшін жеке келтірілген. Резервуар белдеулерінің есебі орындалатын болғандықтан, 1-есептік жағдай күшке неғұрлым қолайсыз болып табылады.



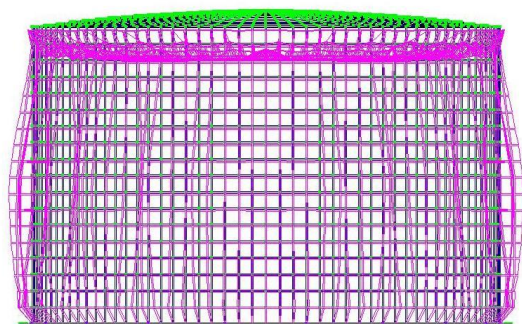
15 Сурет. Lira Soft ортасындағы резервуардың есептік сұлбасы



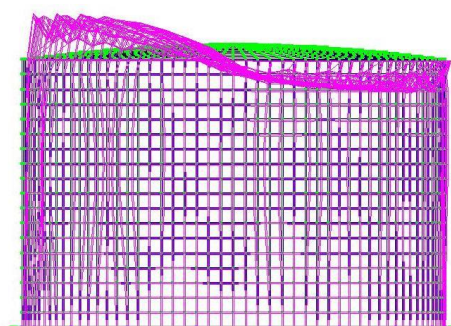
16 Сурет. Гидростатикалық жүктеме әрекетінен өзгеріске ұшыраған сұлба



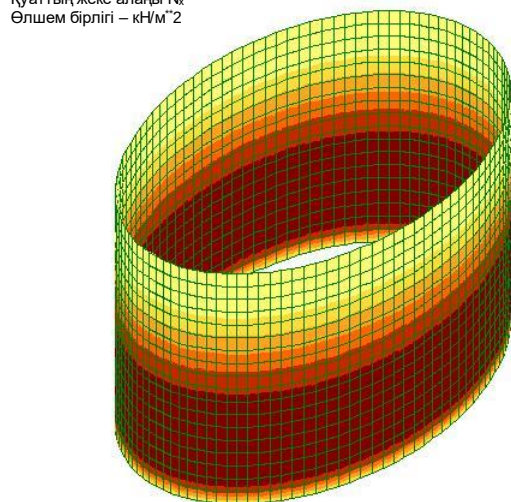
17 Сурет. Желдік жүктеме әрекетінен өзгеріске ұшыраған сұлба



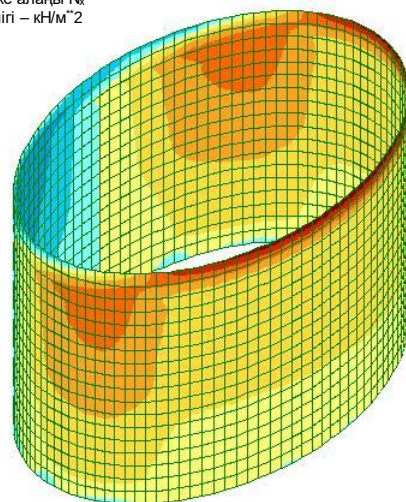
18 Сурет. 1-комбинация бойынша өзгеріске ұшыраған сұлба



19 Сурет. 2-комбинация бойынша өзгеріске ұшыраған сұлба



а)

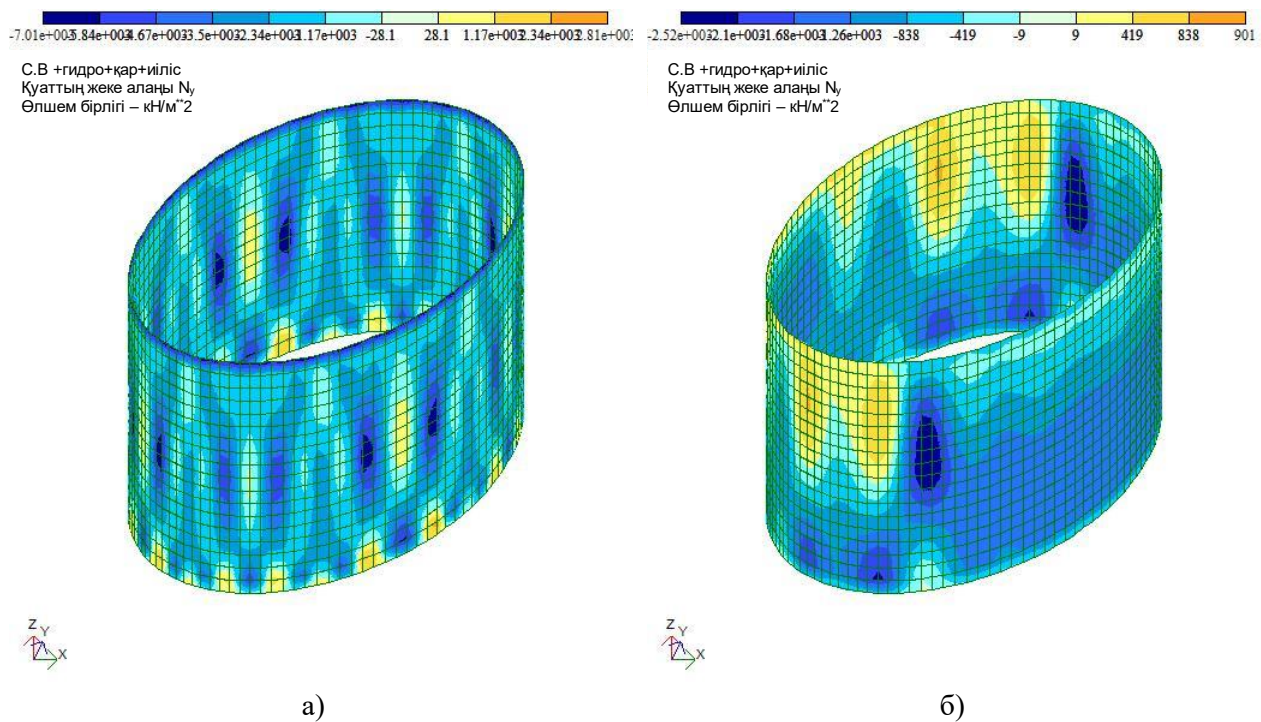


б)

а) 1-комбинация; б) 2-комбинация

20 Сурет. Жүктемелер әсерінен болған цилиндр қабырғасындағы қалыпты сақиналық кернеулердің бөлінуі

а)1-комбинация; б) 2-комбинация



21 Сурет. Жүктемелер әсерінен болған цилиндр қабырғасындағы қалыпты меридионалдық кернеулердің бөлінуі

4.2 Есептеу нәтижелері

Есептеу нәтижелері 4,5-кестелерде берілген.

4, 5 - кестелерде келтірілген кернеулік жағдайдың компоненттері:

$n_{x,Ed}$ – шеңбер ұзындығының бірлігіне түсетін есептік тең әсерлі меридионалдық мембраналық қалыпты кернеулер;

$n_{\theta,Ed}$ – қабық биіктігінің бірлігіне түсетін есептік тең әсерлі сақиналық мембраналық қалыпты кернеулер;

$n_{x\theta,Ed}$ – қабық енінің бірлігіне түсетін есептік тең әсерлі мембраналық қатысты кернеулер;

$m_{x,Ed}$ – шеңбер ұзындығының бірлігіне түсетін есептік меридионалдық майысу сәті;

$m_{\theta,Ed}$ – қабық биіктігінің бірлігіне түсетін көлденең жазықтықтағы есептік сақиналық майысу сәті;

$m_{x\theta,Ed}$ – қабық енінің бірлігіне түсетін есептік көлденең ширату сәті;

4-кесте - 1-комбинация бойынша есептік кернеулер

учаске №	Кернеулік жағдай компоненттері					
	$n_{\theta,Ed}$	$m_{\theta,Ed}$	$n_{x,Ed}$	$m_{x,Ed}$	$n_{x\theta,Ed}$	$m_{x\theta,Ed}$
	кН/см	кН·см/см	кН/см	кН·см/см	кН/см	кН·см/см
1	25,56	0,642	1,1124	0,685	0,4872	0,208
2	20,16	0,591	0,5067	0,228	0,18	0,074
3	17,36	0,58	0,3744	0,174	0,0968	0,0301
4	14,28	0,462	0,4592	0,135	0,04403	0,0143
5	11,28	0,303	0,4752	0,104	0,0375	0,00913
6	8,52	0,267	0,4206	0,0827	0,04446	0,0185
7	5,442	0,177	0,2982	0,0527	0,0435	0,0197
8	2,322	0,0834	0,225	0,0386	0,03768	0,017
9	1,884	0,0451	0,2148	0,0785	0,072	0,0099

4-кесте - 1-комбинация бойынша есептік кернеулер

учаске №	Кернеулік жағдай компоненттері					
	$n_{\theta,Ed}$	$m_{\theta,Ed} \cdot 10^{-3}$	$n_{x,Ed}$	$m_{x,Ed} \cdot 10^{-3}$	$n_{x\theta,Ed}$	$m_{x\theta,Ed} \cdot 10^{-3}$
	кН/см	кН·см/см	кН/см	кН·см/см	кН/см	кН·см/см
1	0,09444	7,89	0,2964	6,72	0,144	4,89
2	0,07839	9,62	0,1971	2,36	0,126	2,99
3	0,07944	13,3	0,1312	4,42	0,1056	2,44
4	0,0903	13,8	0,1393	5,06	0,0833	1,65
5	0,099	11,1	0,1602	4,18	0,05778	0,782
6	0,1014	12,1	0,1632	4,48	0,02898	0,277
7	0,1092	11,5	0,1542	4,4	0,03864	0,864
8	0,1134	9,29	0,123	3,62	0,0702	1,75
9	0,204	5,23	0,066	7,16	0,1092	2,64

5 Цилиндрлі қабырғаны есептеу

5.1 Иілімділіктің шекті жағдайы бойынша есептеу (беріктікке есептеу)

5.1.1 Есептеу әдістемесі

ҚР ҚН EN 1993-4-2 5.2.1-тармағына сәйкес изотроптық қабық ҚР ҚН EN 1993-4-1. 5.3.2-тарауының нұсқауларына сәйкес есептеледі.

Есептеу тәртібі:

а) Есептеу қабықтардың сәттік серпімділік теориясы (LA) бойынша орындалғандықтан, тең әсерлі негізгі кернеулердің алынған қосалшемді алаңы тең әсерлі кернеулердің жалған компоненттеріне айналады (ҚР ҚН EN 1993-4-1 5.2. және 5.3. формулалары):

$$\sigma_{x,Ed} = \frac{n_{x,Ed}}{t} \pm \frac{m_{x,Ed}}{t^2/4}, \quad \sigma_{\theta,Ed} = \frac{n_{\theta,Ed}}{t} \pm \frac{m_{\theta,Ed}}{t^2/4}, \quad \tau_{x\theta,Ed} = \frac{n_{x\theta,Ed}}{t} \pm \frac{m_{x\theta,Ed}}{t^2/4}$$

мұндағы, $n_{x,Ed}$ - шеңбер ұзындығының бірлігіне түсетін есептік тең әсерлі меридионалдық мембраналық қалыпты кернеулер;

$n_{\theta,Ed}$ - қабық биіктігінің бірлігіне түсетін есептік тең әсерлі сақиналық мембраналық қалыпты кернеулер;

$n_{x\theta,Ed}$ - қабық енінің бірлігіне түсетін есептік тең әсерлі мембраналық қатысты кернеулер;

$m_{x,Ed}$ - шеңбер ұзындығының бірлігіне түсетін есептік меридионалдық майысу сәті;

$m_{\theta,Ed}$ - қабық биіктігінің бірлігіне түсетін көлденең жазықтықтағы есептік сақиналық майысу сәті;

$m_{x\theta,Ed}$ - қабық енінің бірлігіне түсетін есептік көлденең ширату сәті.

б) Мизес фондaрының келтірілген есептік кернеулерін анықтау (ҚР ҚН EN 1993-4-1. 5.4.- формуласы):

$$\sigma_{e,Ed} = \sqrt{\sigma_{x,Ed}^2 + \sigma_{\theta,Ed}^2 - \sigma_{x,Ed}\sigma_{\theta,Ed} + 3\tau_{x\theta,Ed}^2}$$

в) дәнекерленген конструкцияларға арналған баламалық есептеу кедергісі (ҚР ҚН EN 1993-4-1. 5.5.- формуласы):

$$f_{e,Rd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

мұндағы, γ_{M0} – иілімділіктің шекті жағдайы бойынша жеке қауіпсіздік коэффициенті, $\gamma_{M0} = 1,00$ (ҚР ҚН EN 1993-4-2. 2.9.2.2.3-тармағын қар.).

г) келтірілген тең әсерлі кернеулер бойынша салмақ түсетін қабілеттілікті тексеру (ҚР ҚН EN 1993-4-1. (5.10) формуласы):

$$\sigma_{e,Ed} \leq f_{e,Rd}$$

д) жеке тең әсерлілік бойынша салмақ түсетін қабілеттіліктер

- меридионалдық бағыттағы салмақ түсетін қабілеттілік (ҚР ҚН EN 1993-4-1. (5.7)

формуласы):

$$n_{x,Rd} = f_u t / \gamma_{M2}$$

- шеңберлік бағыттағы салмақ түсетін қабілеттілік (ҚР ҚН EN 1993-4-1. (5.8) формуласы):

$$n_{\theta,Rd} = f_u t / \gamma_{M2}$$

- жанама кернеулер бойынша салмақ түсетін қабілеттілік (ҚР ҚН EN 1993-4-1. (5.9)

формуласы):

$$n_{x\theta,Rd} = 0,57 f_y t / \gamma_{M0}$$

мұндағы, γ_{M2} - иілімділіктің шекті жағдайы бойынша жеке қауіпсіздік коэффициенті, $\gamma_{M2} = 1,25$ (ҚР ҚН EN 1993-4-2. 2.9.2.2.3-тармағын қар.).

е) жеке тең әсерлілік бойынша тексеру (ҚР ҚН EN 1993-4-1. (5.11) – (5.13) формулалары):

$$n_{x,Ed} \leq n_{x,Rd}, \quad n_{\theta,Ed} \leq n_{\theta,Rd}, \quad n_{x\theta,Ed} \leq n_{x\theta,Rd}$$

5.1.2 Белдеулерді есептеу

5.1.2.1. 1-белдеу

а) тең әсерлі кернеулердің жалған компоненттері:

$$\sigma_{x,Ed1} = \frac{n_{x,Ed1}}{t_1} + \frac{m_{x,Ed1}}{t_1^2/4} = \frac{1,1124}{1,2} + \frac{0,685}{1,2^2/4} = 2,83 \text{ кН/см}^2$$

$$\sigma_{\theta,Ed1} = \frac{n_{\theta,Ed1}}{t_1} + \frac{m_{\theta,Ed1}}{t_1^2/4} = \frac{25,56}{1,2} + \frac{0,642}{1,2^2/4} = 23,08 \text{ кН/см}^2$$

$$\tau_{x\theta,Ed1} = \frac{n_{x\theta,Ed1}}{t_1} + \frac{m_{x\theta,Ed1}}{t_1^2/4} = \frac{0,4872}{1,2} + \frac{0,208}{1,2^2/4} = 0,98 \text{ кН/см}^2$$

б) Мизес фондaрының келтірілген есептік кернеулерін анықтау:

$$\sigma_{e,Ed1} = \sqrt{\sigma_{x,Ed1}^2 + \sigma_{\theta,Ed1}^2 - \sigma_{x,Ed1}\sigma_{\theta,Ed1} + 3\tau_{x\theta,Ed1}^2}$$

$$\sigma_{e,Ed1} = \sqrt{2,83^2 + 23,08^2 - 2,83 \cdot 23,08 + 3 \cdot 0,98^2} = 21,87 \text{ кН/см}^2$$

в) дәнекерленген конструкцияларға арналған баламалық есептеу кедергісі:

$$f_{e,Rd1} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{23,5}{1} = 23,5 \text{ кН/см}^2$$

мұндағы, γ_{M0} – иілімділіктің шекті жағдайы бойынша жеке қауіпсіздік коэффициенті, $\gamma_{M0} = 1,00$;

f_y – қабықтың қабырға табағының аққыштық шегі, $f_y = 23,5 \text{ кН/см}^2$.

г) келтірілген тең әсерлі кернеулер бойынша салмақ түсетін қабілеттілікті тексеру:

$$\sigma_{e,Ed1} \leq f_{e,Rd1} \quad 21,87 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} < 23,5 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} \quad \text{Шарт орындалады.}$$

д) жеке тең әсерлілік бойынша салмақ түсетін қабілеттіліктер

- меридионалдық бағыттағы салмақ түсетін қабілеттілік:

$$n_{x,Rd1} = f_u t_1 / \gamma_{M2} = 36 \cdot 1,2 / 1,25 = 34,56 \text{ кН/см}$$

- шеңберлік бағыттағы салмақ түсетін қабілеттілік:

$$n_{\theta,Rd1} = f_u t_1 / \gamma_{M2} = 36 \cdot 1,2 / 1,25 = 34,56 \text{ кН/см}$$

- жанама кернеулер бойынша салмақ түсетін қабілеттілік:

$$n_{x\theta,Rd1} = 0,57 \cdot f_y t_1 / \gamma_{M0} = 0,57 \cdot 23,5 \cdot 1,2 / 1 = 16,07 \text{ кН/см}$$

мұндағы, f_u – созылу беріктігінің шегі, $f_u = 36 \text{ кН/см}^2$;

γ_{M0} , γ_{M2} – жеке сенімділік коэффициенттері, $\gamma_{M0} = 1,00$, $\gamma_{M2} = 1,25$.

е) жеке тең әсерлілік бойынша тексеру:

$$n_{x,Ed1} \leq n_{x,Rd1}, \quad 1,1124 < 34,56 \quad \text{Шарт орындалады}$$

$$n_{\theta,Ed1} \leq n_{\theta,Rd1}, \quad 25,56 < 34,56 \quad \text{Шарт орындалады}$$

$$n_{x\theta,Ed1} \leq n_{x\theta,Rd1}, \quad 1,4872 < 16,07 \quad \text{Шарт орындалады}$$

5.1.2.2. 2 - белдеу

а) тең әсерлі кернеулердің жалған компоненттері:

$$\sigma_{x,Ed2} = \frac{n_{x,Ed2}}{t_2} + \frac{m_{x,Ed2}}{t_2^2/4} = \frac{0,507}{0,9} + \frac{0,228}{0,9^2/4} = 1,689 \text{ кН/см}^2$$

$$\sigma_{\theta,Ed2} = \frac{n_{\theta,Ed2}}{t_2} + \frac{m_{\theta,Ed2}}{t_2^2/4} = \frac{20,16}{0,9} + \frac{0,591}{0,9^2/4} = 25,319 \text{ кН/см}^2$$

$$\tau_{x\theta,Ed2} = \frac{n_{x\theta,Ed2}}{t_2} + \frac{m_{x\theta,Ed2}}{t_2^2/4} = \frac{0,180}{0,9} + \frac{0,074}{0,9^2/4} = 0,565 \text{ кН/см}^2$$

б) Мизес фондарының келтірілген есептік кернеулерін анықтау:

$$\sigma_{e,Ed2} = \sqrt{\sigma_{x,Ed2}^2 + \sigma_{\theta,Ed2}^2 - \sigma_{x,Ed2} \sigma_{\theta,Ed2} + 3\tau_{x\theta,Ed2}^2}$$

$$\sigma_{e,Ed2} = \sqrt{1,689^2 + 25,319^2 - 1,689 \cdot 25,319 + 3 \cdot 0,565^2} =$$

в) дәнекер құрамалары үшін есептік эквиваленттік кедергі:

$$f_{e,Rd3} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{23,5}{1} = 23,5 \text{ кН/см}^2$$

мұнда γ_{M0} – иілгіштік жағдайы бойынша жиі қауіпсіздік коэффициенті $\gamma_{M0} = 1,00$;

f_y – қабат қабырғасының ағымдылық шегі, $f_y = 23,5 \text{ кН/см}^2$.

г) келтірілген тең әрекет ететін кернеудің тасушылық қабілетін тексеру :

$$\sigma_{e,Ed3} \leq f_{e,Rd3} \quad 24,59 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} > 23,5 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} \quad \text{Шарттар орындалмайды.}$$

Белдіктің қалыңдығын қосамыз. Белдіктің қалыңдығын $t = 9 \text{ мм}$ қылып алып, Табамыз:

–тең әрекет ететін кернеудің жасанды компоненттері $\sigma_{x,Ed2} = 1,28 \text{ кН/см}^2$, $\sigma_{\theta,Ed2} = 22,15 \text{ кН/см}^2$, $\tau_{x\theta,Ed2} = 0,26 \text{ кН/см}^2$;

–Мизеса фонының келтірілген есептік кернеуі $\sigma_{e,Ed2} = 21,55 \text{ кН/см}^2$;

– келтірілген тең әрекет ететін кернеудің тасушылық қабілетін тексеру:

$$\sigma_{e,Ed2} \leq f_{e,Rd2} \quad 21,55 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} > 23,5 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} \quad \text{шарттар орындалмайды}$$

д) тең әрекет ететін бөлек тасушы қабілеттері (белдіктің жаңа қалыңдығымен):

- меридиан бағытындағы тасушылық қабілеті:

$$n_{x,Rd3} = f_u t_3 / \gamma_{M2} = 36 \cdot 0,9 / 1,25 = 25,92 \text{ кН/см}$$

- айналмалы бағыттағы тасушылық қабілеті:

$$n_{\theta,Rd3} = f_u t_3 / \gamma_{M2} = 36 \cdot 0,9 / 1,25 = 25,92 \text{ кН/см}$$

- жанама кернеу бойынша тасу қабілеті:

$$n_{x\theta,Rd3} = 0,57 \cdot f_y t_3 / \gamma_{M0} = 0,57 \cdot 23,5 \cdot 0,9 / 1 = 12,06 \text{ кН/см}$$

Мұнда f_u – созылуға мықтылықтың шегі, $f_u = 36 \text{ кН/см}^2$;

γ_{M0}, γ_{M2} – сенімділіктің жеке кернеулері, $\gamma_{M0} = 1,00$, $\gamma_{M2} = 1,25$.

е) бөлек әрекет ететіндер бойынша тексеріс:

$n_{x,Ed3} \leq n_{x,Rd3},$	$0,374 < 25,92$	Шарттар орындалады
$n_{\theta,Ed3} \leq n_{\theta,Rd3},$	$17,36 < 25,92$	Шарттар орындалады
$n_{x\theta,Ed3} \leq n_{x\theta,Rd3},$	$0,097 < 12,06$	Шарттар орындалады

5.1.2.4, 4 белбеу

а) тең әрекет ететін кернеудің фиктивтік компоненттері:

$$\sigma_{x,Ed4} = \frac{n_{x,Ed4}}{t_4} + \frac{m_{x,Ed4}}{t_4^2/4} = \frac{0,459}{0,7} + \frac{0,135}{0,7^2/4} = 1,758 \text{ кН/см}^2$$

$$\sigma_{\theta,Ed4} = \frac{n_{\theta,Ed4}}{t_4} + \frac{m_{\theta,Ed4}}{t_4^2/4} = \frac{14,28}{0,7} + \frac{0,462}{0,7^2/4} = 24,171 \text{ кН/см}^2$$

$$\tau_{x\theta,Ed4} = \frac{n_{x\theta,Ed4}}{t_4} + \frac{m_{x\theta,Ed4}}{t_4^2/4} = \frac{0,044}{0,7} + \frac{0,014}{0,7^2/4} = 0,180 \text{ кН/см}^2$$

б) Мизеса фонның келтірілген есептік кернеуі :

$$\sigma_{e,Ed4} = \sqrt{\sigma_{x,Ed4}^2 + \sigma_{\theta,Ed4}^2 - \sigma_{x,Ed4} \sigma_{\theta,Ed4} + 3\tau_{x\theta,Ed4}^2}$$

$$\sigma_{e,Ed4} = \sqrt{1,758^2 + 24,171^2 - 1,758 \cdot 24,171 + 3 \cdot 0,180^2} = 23,344 \text{ кН/см}^2$$

дәнекер құрамалары үшін есептік эквиваленттік кедергі:

$$f_{e,Rd4} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{23,5}{1} = 23,5 \text{ кН/см}^2$$

мұнда γ_{M0} – иілгіштік жағдайы бойынша жиі қауіпсіздік коэффициенті, $\gamma_{M0} = 1,00$;

f_y - қабат қабырғасының ағымдылық шегі, $f_y = 23,5 \text{ кН/см}^2$.

г) келтірілген тең әрекет ететін кернеудің тасушылық қабілетін тексеру :

:

$$\sigma_{e,Ed4} \leq f_{e,Rd4} \quad 23,344 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} < 23,5 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} \quad \text{Шарттар орындалмайды.}$$

д) бөлек әрекет ететіндер бойынша тасушының тексерісі:

- меридиан бағытындағы тасушылық қабілеті:

$$n_{x,Rd4} = f_u t_4 / \gamma_{M2} = 36 \cdot 0,7 / 1,25 = 20,16 \text{ кН/см}$$

- айналмалы бағыттағы тасушылық қабілеті:

$$n_{\theta,Rd4} = f_u t_4 / \gamma_{M2} = 36 \cdot 0,7 / 1,25 = 20,16 \text{ кН/см}$$

- жанама кернеу бойынша тасу қабілеті:

$$n_{x\theta,Rd4} = 0,57 \cdot f_y t_4 / \gamma_{M0} = 0,57 \cdot 23,5 \cdot 0,7 / 1 = 9,377 \text{ кН/см}$$

Мұнда f_u – созылуға мықтылықтың шегі, $f_u = 36 \text{ кН/см}^2$;
 γ_{M0}, γ_{M2} – сенімділіктің жеке коэффициенттері, $\gamma_{M0} = 1,00$, $\gamma_{M2} = 1,25$.

е) бөлек әрекет ететіндер бойынша тексеріс:

$n_{x,Ed4} \leq n_{x,Rd4},$	$0,459 < 20,16$	Шарттар орындалады
$n_{\theta,Ed4} \leq n_{\theta,Rd4},$	$14,28 < 20,16$	Шарттар орындалады
$n_{x\theta,Ed4} \leq n_{x\theta,Rd4},$	$0,044 < 9,377$	Шарттар орындалады

5.1.2.5, 5 белдеу

а) тең әрекет ететін кернеудің фиктивтік компоненттері:

$$\sigma_{x,Ed5} = \frac{n_{x,Ed5}}{t_5} + \frac{m_{x,Ed5}}{t_5^2/4} = \frac{0,475}{0,6} + \frac{0,104}{0,6^2/4} = 1,948 \text{ кН/см}^2$$

$$\sigma_{\theta,Ed5} = \frac{n_{\theta,Ed5}}{t_5} + \frac{m_{\theta,Ed5}}{t_5^2/4} = \frac{11,28}{0,6} + \frac{0,303}{0,6^2/4} = 22,167 \text{ кН/см}^2$$

$$\tau_{x\theta,Ed5} = \frac{n_{x\theta,Ed5}}{t_5} + \frac{m_{x\theta,Ed5}}{t_5^2/4} = \frac{0,038}{0,6} + \frac{0,009}{0,6^2/4} = 0,164 \text{ кН/см}^2$$

б) Мизеса фонның келтірілген есептік кернеуі:

$$\sigma_{e,Ed5} = \sqrt{\sigma_{x,Ed5}^2 + \sigma_{\theta,Ed5}^2 - \sigma_{x,Ed5} \sigma_{\theta,Ed5} + 3\tau_{x\theta,Ed5}^2}$$

$$\sigma_{e,Ed5} = \sqrt{1,948^2 + 22,167^2 - 1,948 \cdot 22,167 + 3 \cdot 0,164^2} = 21,262 \text{ кН/см}^2$$

в) дәнекер құрамалары үшін есептік эквиваленттік кедергі:

$$f_{e,Rd5} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{23,5}{1} = 23,5 \text{ кН/см}^2$$

мұнда γ_{M0} – иілгіштік жағдайы бойынша жиі қауіпсіздік коэффициенті, $\gamma_{M0} = 1,00$;
 f_y – қабат қабырғасының ағымдылық шегі, $f_y = 23,5 \text{ кН/см}^2$.

г) бөлек әрекет ететіндер бойынша келтірілген тасушының тексерісі:

$$\sigma_{e,Ed5} \leq f_{e,Rd5} \quad 21,262 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} < 23,5 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} \quad \text{шарттар орындалады}$$

д) бөлек әрекет ететіндер бойынша тасушылардың тексерісі:

- меридиан бағытындағы тасушылық қабілеті:

$$n_{x,Rd5} = f_u t_5 / \gamma_{M2} = 36 \cdot 0,6 / 1,25 = 17,28 \text{ кН/см}$$

- айналмалы бағыттағы тасушылық қабілеті:

$$n_{\theta,Rd5} = f_u t_5 / \gamma_{M2} = 36 \cdot 0,6 / 1,25 = 17,28 \text{ кН/см}$$

- жанама кернеу бойынша тасу қабілеті:

$$n_{x\theta,Rd5} = 0,57 f_y t_5 / \gamma_{M0} = 0,57 \cdot 23,5 \cdot 0,6 / 1 = 8,037 \text{ кН/см}$$

Мұнда f_u – созылуға мықтылықтың шегі, $f_u = 36 \text{ кН/см}^2$;
 γ_{M0}, γ_{M2} – сенімділіктің жеке коэффициенттері, $\gamma_{M0} = 1,00$, $\gamma_{M2} = 1,25$.

е) бөлек әрекет ететіндер бойынша тексеріс:

$n_{x,Ed5} \leq n_{x,Rd5},$	$0,475 < 17,28$	Шарттар орындалады
$n_{\theta,Ed5} \leq n_{\theta,Rd5},$	$11,28 < 17,28$	Шарттар орындалады
$n_{x\theta,Ed5} \leq n_{x\theta,Rd5},$	$0,038 < 8,037$	Шарттар орындалады

5.1.2.6, 6 белбеу

а) тең әрекет ететін кернеудің фиктивтік компоненттері

$$\sigma_{x,Ed6} = \frac{n_{x,Ed6}}{t_6} + \frac{m_{x,Ed6}}{t_6^2/4} = \frac{0,421}{0,6} + \frac{0,083}{0,6^2/4} = 1,620 \text{ кН/см}^2$$

$$\sigma_{\theta,Ed6} = \frac{n_{\theta,Ed6}}{t_6} + \frac{m_{\theta,Ed6}}{t_6^2/4} = \frac{8,52}{0,6} + \frac{0,267}{0,6^2/4} = 17,167 \text{ кН/см}^2$$

$$\tau_{x\theta,Ed6} = \frac{n_{x\theta,Ed6}}{t_6} + \frac{m_{x\theta,Ed6}}{t_6^2/4} = \frac{0,0445}{0,6} + \frac{0,0185}{0,6^2/4} = 0,28 \text{ кН/см}^2$$

б) Мизеса фонының келтірілген есептік кернеуі:

$$\sigma_{e,Ed6} = \sqrt{\sigma_{x,Ed6}^2 + \sigma_{\theta,Ed6}^2 - \sigma_{x,Ed6} \sigma_{\theta,Ed6} + 3\tau_{x\theta,Ed6}^2}$$

$$\sigma_{e,Ed6} = \sqrt{1,62^2 + 17,167^2 - 1,62 \cdot 17,167 + 3 \cdot 0,28^2} = 16,42 \text{ кН/см}^2$$

в) дәнекер құрамалары үшін есептік эквиваленттік кедергі:

$$f_{e,Rd6} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{23,5}{1} = 23,5 \text{ кН/см}^2$$

Мұнда γ_{M0} – иілгішік жағдайы бойынша жиі қауіпсіздік коэффициенті,

$$\gamma_{M0} = 1,00;$$

f_y – қабат қабырғасының ағымдылық шегі, $f_y = 23,5 \text{ кН/см}^2$.

г) бөлек әрекет ететіндер бойынша келтірілген тасушының тексерісі:

$$\sigma_{e,Ed6} \leq f_{e,Rd6} \quad 16,42 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} < 23,5 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} \quad \text{шарттар орындалады.}$$

д) бөлек әрекет ететіндер бойынша тасушылардың тексерісі:

- меридиан бағытындағы тасушылық қабілеті:

$$n_{x,Rd6} = f_u t_6 / \gamma_{M2} = 36 \cdot 0,6 / 1,25 = 17,28 \text{ кН/см}$$

- айналмалы бағыттағы тасушылық қабілеті:

$$n_{\theta,Rd6} = f_u t_6 / \gamma_{M2} = 36 \cdot 0,6 / 1,25 = 17,28 \text{ кН/см}$$

- жанама кернеу бойынша тасу қабілеті:

$$n_{x\theta,Rd6} = 0,57 f_y t_6 / \gamma_{M0} = 0,57 \cdot 23,5 \cdot 0,6 / 1 = 8,04 \text{ кН/см}$$

Мұнда f_u – созылуға мықтылықтың шегі, $f_u = 36 \text{ кН/см}^2$;

γ_{M0}, γ_{M2} – сенімділіктің жеке коэффициенттері, $\gamma_{M0} = 1,00$, $\gamma_{M2} = 1,25$.

е) бөлек әрекет ететіндер бойынша тексеріс:

$$n_{x,Ed6} \leq n_{x,Rd6}, \quad 0,421 < 17,28 \quad \text{Шарттар орындалады}$$

$$n_{\theta,Ed6} \leq n_{\theta,Rd6}, \quad 8,52 < 17,28 \quad \text{Шарттар орындалады}$$

$$n_{x\theta,Ed6} \leq n_{x\theta,Rd6}, \quad 0,445 < 8,04 \quad \text{Шарттар орындалады}$$

5.1.2.7, 7 белбеу

а) тең әрекет ететін кернеудің фиктивтік компоненттері:

$$\sigma_{x,Ed7} = \frac{n_{x,Ed7}}{t_7} + \frac{m_{x,Ed7}}{t_7^2/4} = \frac{0,298}{0,6} + \frac{0,0527}{0,6^2/4} = 1,08 \text{ кН/см}^2$$

$$\sigma_{\theta,Ed7} = \frac{n_{\theta,Ed7}}{t_7} + \frac{m_{\theta,Ed7}}{t_7^2/4} = \frac{5,442}{0,6} + \frac{0,177}{0,6^2/4} = 11,04 \text{ кН/см}^2$$

$$\tau_{x\theta,Ed7} = \frac{n_{x\theta,Ed7}}{t_7} + \frac{m_{x\theta,Ed7}}{t_7^2/4} = \frac{0,0435}{0,6} + \frac{0,0197}{0,6^2/4} = 0,291 \text{ кН/см}^2$$

б) Мизеса фонының келтірілген есептік кернеуі:

$$\sigma_{e,Ed7} = \sqrt{\sigma_{x,Ed7}^2 + \sigma_{\theta,Ed7}^2 - \sigma_{x,Ed7} \sigma_{\theta,Ed7} + 3\tau_{x\theta,Ed7}^2}$$

$$\sigma_{e,Ed7} = \sqrt{1,08^2 + 11,04^2 - 1,08 \cdot 11,04 + 3 \cdot 0,291^2} = 10,55 \text{ кН/см}^2$$

в) дәнекер құрамалары үшін есептік эквиваленттік кедергі:

$$f_{e,Rd7} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{23,5}{1} = 23,5 \text{ кН/см}^2$$

Мұнда γ_{M0} – иілгішік жағдайы бойынша жиі қауіпсіздік коэффициенті,

$$\gamma_{M0} = 1,00;$$

f_y - қабат қабырғасының ағымдылық шегі, $f_y = 23,5 \text{ кН/см}^2$.

г) бөлек әрекет ететіндер бойынша келтірілген тасушының тексерісі:

$$\sigma_{e,Ed7} \leq f_{e,Rd7} \quad 10,55 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} < 23,5 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} \quad \text{шарттар орындалады.}$$

д) бөлек әрекет ететіндер бойынша тасушылардың тексерісі:

- меридиан бағытындағы тасушылық қабілеті:

$$n_{x,Rd7} = f_u t_7 / \gamma_{M2} = 36 \cdot 0,6 / 1,25 = 17,28 \text{ кН/см}$$

- айналмалы бағыттағы тасушылық қабілеті:

$$n_{\theta,Rd7} = f_u t_7 / \gamma_{M2} = 36 \cdot 0,6 / 1,25 = 17,28 \text{ кН/см}$$

- жанама кернеу бойынша тасу қабілеті:

$$n_{x\theta,Rd7} = 0,57 f_y t_7 / \gamma_{M0} = 0,57 \cdot 23,5 \cdot 0,6 / 1 = 8,04 \text{ кН/см}$$

мұнда f_u – созылуға мықтылықтың шегі, $f_u = 36 \text{ кН/см}^2$;

γ_{M0}, γ_{M2} – сенімділіктің жеке коэффициенттері, $\gamma_{M0} = 1,00$, $\gamma_{M2} = 1,25$.

е) бөлек әрекет ететіндер бойынша тексеріс:

$$n_{x,Ed7} \leq n_{x,Rd7}, \quad 0,298 < 17,28 \quad \text{Шарттар орындалады}$$

$$n_{\theta,Ed7} \leq n_{\theta,Rd7}, \quad 5,442 < 17,28 \quad \text{Шарттар орындалады}$$

$$n_{x\theta,Ed7} \leq n_{x\theta,Rd7}, \quad 0,0435 < 8,04 \quad \text{Шарттар орындалады}$$

5.1.2.8. 8 белбеу

а) тең әрекет ететін кернеудің фиктивтік компоненттері:

$$\sigma_{x,Ed8} = \frac{n_{x,Ed8}}{t_8} + \frac{m_{x,Ed8}}{t_8^2/4} = \frac{0,225}{0,6} + \frac{0,0386}{0,6^2/4} = 0,804 \text{ кН/см}^2$$

$$\sigma_{\theta,Ed8} = \frac{n_{\theta,Ed8}}{t_8} + \frac{m_{\theta,Ed8}}{t_8^2/4} = \frac{2,322}{0,6} + \frac{0,0834}{0,6^2/4} = 4,797 \text{ кН/см}^2$$

$$\tau_{x\theta,Ed8} = \frac{n_{x\theta,Ed8}}{t_8} + \frac{m_{x\theta,Ed8}}{t_8^2/4} = \frac{0,0377}{0,6} + \frac{0,017}{0,6^2/4} = 0,252 \text{ кН/см}^2$$

б) Мизеса фонның келтірілген есептік кернеуі:

$$\sigma_{e,Ed8} = \sqrt{\sigma_{x,Ed8}^2 + \sigma_{\theta,Ed8}^2 - \sigma_{x,Ed8} \sigma_{\theta,Ed8} + 3 \tau_{x\theta,Ed8}^2}$$

$$\sigma_{e,Ed8} = \sqrt{0,804^2 + 4,797^2 - 0,804 \cdot 4,797 + 3 \cdot 0,252^2} = 4,47 \text{ кН/см}^2$$

в) дәнекер құрамалары үшін есептік эквиваленттік кедергі:

$$f_{e,Rd8} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{23,5}{1} = 23,5 \text{ кН/см}^2$$

мұнда γ_{M0} – иілгішік жағдайы бойынша жиі қауіпсіздік коэффициенті,

$\gamma_{M0} = 1,00$;

f_y - қабат қабырғасының ағымдылық шегі, $f_y = 23,5 \text{ кН/см}^2$.

г) бөлек әрекет ететіндер бойынша келтірілген тасушының тексерісі:

$$\sigma_{e,Ed8} \leq f_{e,Rd8} \quad 4,47 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} < 23,5 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} \quad \text{шарттар орындалады}$$

д) бөлек әрекет ететіндер бойынша тасушылардың тексерісі:

- меридиан бағытындағы тасушылық қабілеті:

$$n_{x,Rd8} = f_u t_8 / \gamma_{M2} = 36 \cdot 0,6 / 1,25 = 17,28 \text{ кН/см}$$

- айналмалы бағыттағы тасушылық қабілеті:

$$n_{\theta,Rd8} = f_u t_8 / \gamma_{M2} = 36 \cdot 0,6 / 1,25 = 17,28 \text{ кН/см}$$

- жанама кернеу бойынша тасу қабілеті:

$$n_{x\theta,Rd8} = 0,57f_y t_8 / \gamma_{M0} = 0,57 \cdot 23,5 \cdot 0,6 / 1 = 8,04 \text{ кН/см}$$

Мұнда f_u – созылуға мықтылықтың шегі, $f_u = 36 \text{ кН/см}^2$;

γ_{M0}, γ_{M2} сенімділіктің жеке коэффициенттері, $\gamma_{M0} = 1,00$, $\gamma_{M2} = 1,25$.

е) бөлек әрекет ететіндер бойынша тексеріс:

$$\begin{aligned} n_{x,Ed8} &\leq n_{x,Rd8}, & 0,225 &< 17,28 & \text{Шарттар орындалады} \\ n_{\theta,Ed8} &\leq n_{\theta,Rd8}, & 2,322 &< 17,28 & \text{Шарттар орындалады} \\ n_{x\theta,Ed8} &\leq n_{x\theta,Rd8}, & 0,0377 &< 8,04 & \text{Шарттар орындалады} \end{aligned}$$

5.1.2.9. 9 белбеу

а) тең әрекет ететін кернеудің фиктивтік компоненттері:

$$\begin{aligned} \sigma_{x,Ed9} &= \frac{n_{x,Ed9}}{t_9} + \frac{m_{x,Ed9}}{t_9^2/4} = \frac{0,215}{0,6} + \frac{0,0785}{0,6^2/4} = 1,23 \text{ кН/см}^2 \\ \sigma_{\theta,Ed9} &= \frac{n_{\theta,Ed9}}{t_9} + \frac{m_{\theta,Ed9}}{t_9^2/4} = \frac{1,884}{0,6} + \frac{0,0451}{0,6^2/4} = 3,64 \text{ кН/см}^2 \\ \tau_{x\theta,Ed9} &= \frac{n_{x\theta,Ed9}}{t_9} + \frac{m_{x\theta,Ed9}}{t_9^2/4} = \frac{0,072}{0,6} + \frac{0,0099}{0,6^2/4} = 0,23 \text{ кН/см}^2 \end{aligned}$$

б) Мизеса фонның келтірілген есептік кернеуі:

$$\begin{aligned} \sigma_{e,Ed9} &= \sqrt{\sigma_{x,Ed9}^2 + \sigma_{\theta,Ed9}^2 - \sigma_{x,Ed9} \sigma_{\theta,Ed9} + 3\tau_{x\theta,Ed9}^2} \\ \sigma_{e,Ed9} &= \sqrt{1,23^2 + 3,64^2 - 1,23 \cdot 3,64 + 3 \cdot 0,23^2} = 3,23 \text{ кН/см}^2 \end{aligned}$$

в) дәнекер құрамалары үшін есептік эквиваленттік кедергі:

$$f_{e,Rd9} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{23,5}{1} = 23,5 \text{ кН/см}^2$$

Мұнда γ_{M0} – иілгіштік жағдайы бойынша жиі қауіпсіздік коэффициенті, $\gamma_{M0} = 1,00$;

f_y - қабат қабырғасының ағымдылық шегі, $f_y = 23,5 \text{ кН/см}^2$.

г) бөлек әрекет ететіндер бойынша келтірілген тасушының тексерісі:

$$\sigma_{e,Ed9} \leq f_{e,Rd9} \quad 3,23 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} < 23,5 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} \quad \text{шарттар орындалады}$$

д) бөлек әрекет ететіндер бойынша тасушылардың тексерісі:

- меридиан бағытындағы тасушылық қабілеті:

$$n_{x,Rd9} = f_u t_9 / \gamma_{M2} = 36 \cdot 0,6 / 1,25 = 17,28 \text{ кН/см}$$

- айналмалы бағыттағы тасушылық қабілеті:

$$n_{\theta,Rd9} = f_u t_9 / \gamma_{M2} = 36 \cdot 0,6 / 1,25 = 17,28 \text{ кН/см}$$

- жанама кернеу бойынша тасу қабілеті:

$$n_{x\theta,Rd9} = 0,57f_y t_9 / \gamma_{M0} = 0,57 \cdot 23,5 \cdot 0,6 / 1 = 8,04 \text{ кН/см}$$

Мұнда f_u – созылуға мықтылықтың шегі, $f_u = 36 \text{ кН/см}^2$;

γ_{M0}, γ_{M2} – сенімділіктің жеке коэффициенттері, $\gamma_{M0} = 1,00$, $\gamma_{M2} = 1,25$.

е) бөлек әрекет ететіндер бойынша тексеріс:

$$\begin{aligned} n_{x,Ed9} &\leq n_{x,Rd9}, & 0,215 &< 17,28 & \text{Шарттар орындалады} \\ n_{\theta,Ed9} &\leq n_{\theta,Rd9}, & 1,884 &< 17,28 & \text{Шарттар орындалады} \\ n_{x\theta,Ed9} &\leq n_{x\theta,Rd9}, & 0,072 &< 8,04 & \text{Шарттар орындалады} \end{aligned}$$

Ары қарай есептеу үшін белбеулердің 12-10-9-7-6-6-6-6 мм қалыңдықтарын қабылдаймыз (төмендегісінен бастап).

5.2 Тұрақтылықтықтан айырылу жағдайы бойынша есеп (тұрақтылыққа есеп)

5.2.1 Шығыс шарттары

Дайындауға рұқсат берудің сапасы - СП РК EN 1993-4-1, 15.1 Кестесі бойынша $Q=16$ сапасының параметріне стандартты.

Қабат бойынша дөңгелек және ұзына бойғы қаттылық қабырғалары – жоқ.

5.2.2 ішкі қысым болған жағдайда қаттылыққа есептеу әдістемесі

а) амплитуданың қайта таныстыру мағынасы:

w_{ok} (CH РК EN 1993-4-1, (5.14 Формуласы)):

$$w_{ok} = \frac{t}{Q} \sqrt{\frac{r}{t}}$$

б) Қысым жоқ жағдайдағы несовершенствонның α_0 барында серпінді төмендетілген коэффициент (CH РК EN 1993-4-1, 5.15 Формула):

$$\alpha_0 = \frac{0.62}{1 + 1.91\psi \left(\frac{w_{ok}}{t}\right)^{1.44}}$$

қысымның теңсіздігінің параметрі $\psi = 1$, себебі айналымы бойынша тең қысым жағдайы орын алады.

в) қысымның жетілмеген α_{pe} бар жағдайында серпінді төмендетілген коэффициент келесі ретпен анықталады:

–серпінді сатыда тұрақтылықтың жоғалтуының ауыспалы қысымы (CH РК EN 1993-4-1, (5.28 Формуласы)):

$$\sigma_{x,Rcr} = \frac{E}{\sqrt{3(1-\nu^2)}} \frac{t}{r} = 0,605E \frac{t}{r}$$

–локалды ішкі қысымының аталған есеп нүктесінде ең төмен кепілді мағынасы (Формула CH РК EN 1993-4-1(5.17) Формуласы):

$$\bar{p}_s = \frac{p_s r}{t \sigma_{x,Rcr}}$$

мұнда p_s - Локалды ішкі қысым аталған есеп нүктесінде 1 кесте бойынша қабылданады

–серпінді төмендетілген коэффициенттің мағынасы (CH РК EN 1993-4-1, Формула (5.16))

$$\alpha_{pe} = \alpha_0 + (1 - \alpha_0) \left(\frac{\bar{p}_s}{\bar{p}_s + \frac{0.3}{\sqrt{\alpha_0}}} \right)$$

г) серпінді пластикалық төмендетілген коэффициент жетілмеген жағдайында келесі ретпен анықталады

–Қаралатын нүктедегі ең үлкен локалды қысым 1 кесте бойынша анықталады(Формула CH РК EN 1993-4-1, 5.19 Формуласы):

$$\bar{p}_g = \frac{p_g}{\sigma_{x,Rcr}} \frac{r}{t}$$

Мұнда p_g - Аталған есептік нүктесінде ішкі қысымның локалдық мағынасының ең көп есептік мағынасы 1 Кесте 1,5 коэффициентімен бойынша қабылданады:

–s параметрі (CH РК EN 1993-4-1) (5.20) Формуласы:

$$s = \left(\frac{1}{400} \right) \left(\frac{r}{t} \right)$$

–шартты иілгіш квадраты (CH РК EN 1993-4-1) (5.21) Формуласы:

$$\bar{\lambda}_x^2 = \frac{f_y}{\sigma_{x,Rcr}}$$

–коэффициент мағынасы (СН РК EN 1993-4-1) (5.18) Формуласы:

$$\alpha_{pp} = \left\{ 1 - \left(\frac{\bar{p}_s}{\bar{\lambda}_x^2} \right)^2 \right\} \left[1 - \frac{1}{1,12 + s^{3/2}} \right] \cdot \left[\frac{s^2 + 1,21\bar{\lambda}_x^2}{s(s+1)} \right]$$

д) Бункерде ішкі қысым болғандықтан, иілгіш төмендетілген коэффициент жетілмеген α жағдайда, екі шаманың α_{pe} және α_{pp} ең төменгі мағынасы деп қабылдау керек

е) тұрақтылықтың төмендеу коэффициенті χ_x қабаттың λ_x салыстырмалы иілгіштің қызметі ретінде анықталады (СН РК EN 1993-4-1) (5.30) – (5.35) Формулалары :

$$\bar{\lambda}_x = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{x,Rcr}}}, \quad \bar{\lambda}_0 = 0,2, \quad \bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{\alpha}{1-\beta}}$$

$$\chi_x = 1 \quad \text{если } \bar{\lambda}_x \leq \bar{\lambda}_0$$

$$\chi_x = 1 - \beta \left(\frac{\bar{\lambda}_x - \bar{\lambda}_0}{\bar{\lambda}_p - \bar{\lambda}_0} \right)^\eta \quad \text{если } \bar{\lambda}_0 < \bar{\lambda}_x < \bar{\lambda}_p$$

$$\chi_x = \frac{\alpha}{\bar{\lambda}_x^2} \quad \text{если } \bar{\lambda}_p \leq \bar{\lambda}_x$$

мұнда: $\beta = 0,6$ и $\eta = 1,0$.

ж) тұрақтылықты жоғалтуда аумалы күйдегі қысымының сипаттамалық мағынасы (СН РК EN 1993-4-1, (5.29) Формуласы):

$$\sigma_{x,Rk} = \chi_x f_y$$

з) тұрақтылықты жоғалтуда есептік мембраналық қысым (СН РК EN 1993-4-1 (5.36 Формуласы)):

$$\sigma_{x,Rd} = \sigma_{x,Rk} / \gamma_{M1}$$

Мұнда γ_{M1} - тұрақтылық жағдайы бойынша қауіпсіздіктің жеке коэффициенті, $\gamma_{M1} = 1,10$
2.9.2.2.3 Пункті бойынша СН РК EN 1993-4-2.

и) қабат тұрақтылығының тексерілуі (.37 СН РК EN 1993-4- 1,5Формуласы):

$$n_{x,Ed} \leq t \cdot \sigma_{x,Rd}$$

5.2.3. Белдеулер есебі

5.2.3.1. 1 белдеу

а) жетілмеген w_{ok} амплитуданың өкілдік мағынасы

$$w_{ok1} = \frac{t_1}{Q} \sqrt{\frac{r}{t_1}} = \frac{1,2}{16} \sqrt{\frac{1425}{1,2}} = 2,58 \text{ см}$$

б)Қысым жоқ жағдайдағы несовершенствоның α_0 барында серпінді төмендетілген коэффициент

$$\alpha_{01} = \frac{0,62}{1 + 1,91\psi \left(\frac{w_{ok1}}{t_1} \right)^{1,44}} = \frac{0,62}{1 + 1,91 \cdot 1 \cdot \left(\frac{2,58}{1,2} \right)^{1,44}} = 0,0916$$

қысымның теңсіздігінің параметрі $\psi = 1$, себебі айналымы бойынша тең қысым жағдайы орын алады.

в) қысымның α_{pe} жетілмеген жағдайында серпінді төмендетілген коэффициент келесі ретпен анықталады:

–серпінді сатыда тұрақтылықтың жоғалтуының ауыспалы қысымы:

$$\sigma_{x,Rcr1} = \frac{E}{\sqrt{3(1-\nu^2)}} \frac{t_1}{r} = 0,605E \frac{t_1}{r} = 0,605 \cdot 2,1 \cdot 10^4 \cdot \frac{1,2}{1425} = 10,7 \text{ кН/см}^2$$

– Аталған есептік нүктеде локалды ішкі қысымның ең төменгі кепілдердірілген мағынасы:

$$\bar{p}_{s1} = \frac{p_{s1}r}{t_1 \sigma_{x,Rcr1}} = \frac{145,2 \cdot 10^{-4} \cdot 1425}{1,2 \cdot 107} = 1,612$$

мұнда p_s – аталған есептік нүктеде локалды ішкі қысым $p_{s1} = 145,2 \cdot 10^{-4} \text{ кН/см}^2$.

– ауыспалы төмендетілетін коэффициенттің мағынасы:

$$\alpha_{pe1} = \alpha_{01} + (1 - \alpha_{01}) \left(\frac{\bar{p}_{s1}}{\bar{p}_{s1} + \frac{0,3}{\sqrt{\alpha_{01}}}} \right) = 0,0916 + (1 - 0,0916) \left(\frac{1,612}{1,612 + \frac{0,3}{\sqrt{0,0916}}} \right) = 0,6541$$

г) пластикалық төмендетілетін коэффициент жетілмеген жағдайда кеосі ретпен анықталады:

– қаралатын нүктедегі ең көп локалды қысым $p_{g1} = 217,8 \cdot 10^{-4} \text{ кН/см}^2$:

$$\bar{p}_{g1} = \frac{p_{g1}}{\sigma_{x,Rcr1}} \frac{r}{t_1} = \frac{217,8 \cdot 10^{-4}}{10,7} \cdot \frac{1425}{1,2} = 2,42$$

– s параметрі:

$$s_1 = \left(\frac{1}{400} \right) \left(\frac{r}{t_1} \right) = \left(\frac{1}{400} \right) \cdot \left(\frac{1425}{1,2} \right) = 2,97$$

– шартты иілгіш квадраты:

$$\bar{\lambda}_{x1}^2 = \frac{f_y}{\sigma_{x,Rcr1}} = \frac{23,5}{10,7} = 2,20$$

–коэффициент мағынасы:

$$\alpha_{pp1} = \left\{ 1 - \left(\frac{\bar{p}_{s1}}{\bar{\lambda}_{x1}^2} \right)^2 \right\} \left[1 - \frac{1}{1,12 + s_1^{3/2}} \right] \left[\frac{s_1^2 + 1,21 \cdot \bar{\lambda}_{x1}^2}{s_1 \cdot (s_1 + 1)} \right]$$

$$\alpha_{pp1} = \left\{ 1 - \left(\frac{1,612}{2,20} \right)^2 \right\} \left[1 - \frac{1}{1,12 + 2,97^{3/2}} \right] \left[\frac{2,97^2 + 1,21 \cdot 2,20}{2,97 \cdot (2,97 + 1)} \right] = 0,3774$$

д) $\alpha_{01} < \alpha_{pp1} < \alpha_{pe1}$ то $\alpha_4 = 0,3774$.

е) тұрақтылықтың төмендеу коэффициенті χ_x , қабаттың λ_x : қатысты иілгіш функциясы ретінде анықталады:

$$\bar{\lambda}_{x1} = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{x,Rcr1}}} = \sqrt{\frac{23,5}{10,7}} = 1,482; \quad \bar{\lambda}_0 = 0,2 \text{ и } \bar{\lambda}_{p1} = \sqrt{\frac{\alpha_1}{1 - \beta}} = \sqrt{\frac{0,3774}{1 - 0,6}} = 0,971$$

мұнда: $\beta = 0,6$.

$$\text{т. к. } \bar{\lambda}_{p1} \leq \bar{\lambda}_{x1} \text{ то } \chi_{x1} = \frac{\alpha_1}{\bar{\lambda}_{x1}^2} = \frac{0,3774}{2,20} = 0,1718$$

ж) ауыспалы қысымның тұрақтылықтан айырылудағы сипаттамалық мағыналары :

$$\sigma_{x,Rk1} = \chi_{x1} f_y = 0,1718 \cdot 23,5 = 4,04 \text{ кН/см}^2$$

з) тұрақтылықтан айырылуда мембраналық есептік қысымы:

$$\sigma_{x,Rd1} = \frac{\sigma_{x,Rk1}}{\gamma_{M1}} = \frac{4,04}{1,1} = 3,67 \text{ кН/см}^2$$

мұнда γ_{M1} — тұрақтылық жағдайы бойынша қауіпсіздіктің жеке коэффициенті,

$\gamma_{M1} = 1,10$ 2.9.2.2.3 Пункті бойынша СН РК EN 1993-4-2.

и) қабаттың қаттылығын тексеру:

$$n_{x,Ed1} \leq t_1 \sigma_{x,Rd1}$$

$$t_1 \sigma_{x,Rd1} = 1,2 \cdot 3,67 = 4,40 \frac{\text{кН}}{\text{см}}$$

$$1,11 \frac{\text{кН}}{\text{см}} < 4,40 \frac{\text{кН}}{\text{см}} \quad \text{шарт орындалады.}$$

5.2.3.2. 2 Белдеу

а) жетілмеген w_{ok} амплитудасының өкілдік мағынасы

$$w_{ok2} = \frac{t_2}{Q} \sqrt{\frac{r}{t_2}} = \frac{1,0}{16} \sqrt{\frac{1425}{1,0}} = 2,36 \text{ см}$$

б) Қысым жоқ жағдайдағы несовершенствоның α_0 барында серпінді төмендетілген коэффициент

$$\alpha_{02} = \frac{0,62}{1 + 1,91\psi \left(\frac{w_{ok2}}{t_2}\right)^{1,44}} = \frac{0,62}{1 + 1,91 \cdot 1 \cdot \left(\frac{2,36}{1,0}\right)^{1,44}} = 0,0819$$

қысымның теңсіздігінің параметрі $\psi = 1$, себебі айналымы бойынша тең қысым жағдайы орын алады.

в) жетілмеген қысымның α_{pe} бар жағдайында серпінді төмендетілген коэффициент келесі ретпен анықталады:

– ауыспалы сатыда тұрақтылықтан айырылудың сыни қысымы:

$$\sigma_{x,Rcr2} = \frac{E}{\sqrt{3(1-\nu^2)}} \frac{t_2}{r} = 0,605E \frac{t_2}{r} = 0,605 \cdot 2,1 \cdot 10^4 \cdot \frac{1,0}{1425} = 8,92 \text{ кН/см}^2$$

– аталған есептік нүктеде локалдық қысымның ең төменгі кепілдік мағынасы:

$$\bar{p}_{s2} = \frac{p_{s2}r}{t_2 \sigma_{x,Rcr2}} = \frac{127,6 \cdot 10^{-4} \cdot 1425}{1,0 \cdot 8,92} = 2,039$$

мұнда p_s – аталған есептік нүктеде локалды ішкі қысым $p_{s2} = 127,6 \cdot 10^{-4} \text{ кН/см}^2$.

– иілгіш төмендетілген коэффициенттің мағынасы:

$$\alpha_{pe2} = \alpha_{02} + (1 - \alpha_{02}) \left(\frac{\bar{p}_{s2}}{\bar{p}_{s2} + \frac{0,3}{\sqrt{\alpha_{02}}}} \right) = 0,0766 + (1 - 0,0819) \left(\frac{2,039}{2,039 + \frac{0,3}{\sqrt{0,0819}}} \right) = 0,6882$$

г) жетілмеген жағдайда пластикалық төмендетілген коэффициент келесі ретпен анықталады:

– қаралатын нүктеде ең көп локалды қысым, $p_{g2} = 191,4 \cdot 10^{-4} \text{ кН/см}^2$:

$$\bar{p}_{g2} = \frac{p_{g2}}{\sigma_{x,Rcr2}} \frac{r}{t_2} = \frac{191,4 \cdot 10^{-4}}{8,92} \cdot \frac{1425}{1,0} = 3,06$$

– s параметрі:

$$s_2 = \left(\frac{1}{400} \right) \left(\frac{r}{t_2} \right) = \left(\frac{1}{400} \right) \left(\frac{1425}{1,0} \right) = 3,56$$

– шартты иілгіш квадраты:

$$\bar{\lambda}_{x2}^2 = \frac{f_y}{\sigma_{x,Rcr2}} = \frac{23,5}{892} = 2,64$$

– коэффициент мағынасы:

$$\alpha_{pp2} = \left\{ 1 - \left(\frac{\bar{p}_{s2}}{\bar{\lambda}_{x2}^2} \right)^2 \right\} \left[1 - \frac{1}{1,12 + s_2^{3/2}} \right] \left[\frac{s_2^2 + 1,21 \bar{\lambda}_{x2}^2}{s_2(s_2 + 1)} \right]$$

$$\alpha_{pp2} = \left\{ 1 - \left(\frac{2,039}{2,64} \right)^2 \right\} \left[1 - \frac{1}{1,12 + 3,56^{3/2}} \right] \left[\frac{3,56^2 + 1,21 \cdot 2,64}{3,56 \cdot (3,56 + 1)} \right] = 0,3421$$

д) $\alpha_{02} < \alpha_{pp2} < \alpha_{pe2}$ то $\alpha_2 = 0,3421$.

е) тұрақтылықтың төмендеу коэффициенті χ_x , қабаттың λ_x : қатысты иілгіш функциясы ретінде анықталады:

$$\bar{\lambda}_{x2} = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{x,Rcr2}}} = \sqrt{\frac{23,5}{8,92}} = 1,624; \quad \bar{\lambda}_{02} = 0,2 \text{ и } \bar{\lambda}_{p2} = \sqrt{\frac{\alpha_2}{1-\beta}} = \sqrt{\frac{0,3421}{1-0,6}} = 0,925$$

мұнда: $\beta = 0,6$.

$$\text{т. к. } \bar{\lambda}_{p2} \leq \bar{\lambda}_{x2} \text{ то } \chi_{x2} = \frac{\alpha_2}{\bar{\lambda}_{x2}^2} = \frac{0,3421}{2,64} = 0,1298$$

ж) ауыспалы қысымның тұрақтылықтан айырылудағы сипаттамалық мағыналары :

$$\sigma_{x,Rk2} = \chi_{x2} f_y = 0,1298 \cdot 23,5 = 3,05 \text{ кН/см}^2$$

з) тұрақтылықтан айырылуда мембраналық есептік қысымы:

$$\sigma_{x,Rd2} = \frac{\sigma_{x,Rk2}}{\gamma_{M1}} = \frac{3,05}{1,1} = 2,77 \text{ кН/см}^2$$

мұнда γ_{M1} — тұрақтылық жағдайы бойынша қауіпсіздіктің жеке коэффициенті $\gamma_{M1} = 1,10$
2.9.2.2. Пункті бойынша 3 СН РК EN 1993-4-2.

и) қабаттың қаттылығын тексеру:

$$n_{x,Ed2} \leq t_2 \sigma_{x,Rd2}$$

$$t_2 \sigma_{x,Rd2} = 1,0 \cdot 2,77 = 2,77 \frac{\text{кН}}{\text{см}}$$

$$0,51 \frac{\text{кН}}{\text{см}} < 2,77 \frac{\text{кН}}{\text{см}} \quad \text{шарт орындалады.}$$

5.2.3.3. Збелдеу

а) жетілмеген w_{ok} амплитудасының қайта таныстыру мағынасы

$$w_{ok3} = \frac{t_3}{Q} \sqrt{\frac{r}{t_3}} = \frac{0,9}{16} \sqrt{\frac{1425}{0,9}} = 2,24 \text{ см}$$

б) Қысым жоқ жағдайдағы несовершенствонның α_0 барында серпінді төмендетілген коэффициент

$$\alpha_{03} = \frac{0,62}{1 + 1,91 \psi \left(\frac{w_{ok3}}{t_3} \right)^{1,44}} = \frac{0,62}{1 + 1,91 \cdot 1 \cdot \left(\frac{2,24}{0,9} \right)^{1,44}} = 0,0766$$

қысымның теңсіздігінің параметрі $\psi = 1$, себебі айналымы бойынша тең қысым жағдайы орын алады.

в) жетілмеген қысымның α_{pe} бар жағдайында серпінді төмендетілген коэффициент келесі ретпен анықталады:

– ауыспалы сатыда тұрақтылықтан айырылудың сыни қысымы:

$$\sigma_{x,Rcr3} = \frac{E}{\sqrt{3(1-\nu^2)}} \frac{t_3}{r} = 0,605 E \frac{t_3}{r} = 0,605 \cdot 2,1 \cdot 10^4 \cdot \frac{0,9}{1425} = 8,02 \text{ кН/см}^2$$

– аталған есептік нүктеде локалды қысымның ең төменгі кепілдік мағынасы

$$\bar{p}_{s3} = \frac{p_{s3} r}{t_3 \sigma_{x,Rcr3}} = \frac{110 \cdot 10^{-4} \cdot 1425}{0,9 \cdot 8,02} = 2,171$$

Мұнда p_s – аталған есептік нүктеде локалды ішкі қысым, $p_{s3} = 110 \cdot 10^{-4} \text{ кН/см}^2$.

– иілгіш төмендетілген коэффициенттің мағынасы:

$$\alpha_{pe3} = \alpha_{03} + (1 - \alpha_{03}) \left(\frac{\bar{p}_{s3}}{\bar{p}_{s3} + \frac{0,3}{\sqrt{\alpha_{03}}}} \right) = 0,0711 + (1 - 0,0766) \left(\frac{2,171}{2,171 + \frac{0,3}{\sqrt{0,0766}}} \right) = 0,6925$$

г) жетілмеген жағдайда пластикалық төмендетілген коэффициент келесі ретпен анықталады:

– қаралатын нүктеде ең көп локалды қысым, $p_{g3} = 165 \cdot 10^{-4} \text{ кН/см}^2$:

$$\bar{p}_{g3} = \frac{p_{g3}}{\sigma_{x,Rcr3}} \frac{r}{t_3} = \frac{165 \cdot 10^{-4}}{8,02} \cdot \frac{1425}{0,9} = 3,26$$

– s параметрі

$$s_3 = \left(\frac{1}{400} \right) \left(\frac{r}{t_3} \right) = \left(\frac{1}{400} \right) \cdot \left(\frac{1425}{0,9} \right) = 3,96$$

– шартты иілгіш квадраты:

$$\bar{\lambda}_{x3}^2 = \frac{f_y}{\sigma_{x,Rcr3}} = \frac{23,5}{8,02} = 2,93$$

– коэффициент мағынасы:

$$\alpha_{pp3} = \left\{ 1 - \left(\frac{\bar{p}_{s3}}{\bar{\lambda}_{x3}^2} \right)^2 \right\} \left[1 - \frac{1}{1,12 + s_3^{3/2}} \right] \left[\frac{s_3^2 + 1,21 \bar{\lambda}_{x3}^2}{s_3(s_3 + 1)} \right]$$

$$\alpha_{pp3} = \left\{ 1 - \left(\frac{2,171}{2,93} \right)^2 \right\} \left[1 - \frac{1}{1,12 + 3,96^{3/2}} \right] \left[\frac{3,96^2 + 1,21 \cdot 2,93}{3,96 \cdot (3,96 + 1)} \right] = 0,39215$$

д) $\alpha_{03} < \alpha_{pp3} < \alpha_{pe3}$ то $\alpha_3 = 0,3921$.

е) тұрақтылықтың төмендеу коэффициенті χ_x , қабаттың λ_x : қатысты иілгіш функциясы ретінде анықталады:

$$\bar{\lambda}_{x3} = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{x,Rcr3}}} = \sqrt{\frac{23,5}{8,02}} = 1,711; \quad \bar{\lambda}_{03} = 0,2 \text{ и } \bar{\lambda}_{p3} = \sqrt{\frac{\alpha_3}{1 - \beta}} = \sqrt{\frac{0,3921}{1 - 0,6}} = 0,990$$

мұнда: $\beta = 0,6$.

$$\text{т. к. } \bar{\lambda}_{p3} \leq \bar{\lambda}_{x3} \text{ то } \chi_{x3} = \frac{\alpha_3}{\bar{\lambda}_{x3}^2} = \frac{0,3921}{2,93} = 0,1339$$

ж) ауыспалы қысымның тұрақтылықтан айырылудағы сипаттамалық мағыналары

$$\sigma_{x,Rk3} = \chi_{x3} f_y = 0,1339 \cdot 23,5 = 3,15 \text{ кН/см}^2$$

з) тұрақтылықтан айырылуда мембраналық есептік қысымы:

$$\sigma_{x,Rd3} = \frac{\sigma_{x,Rk3}}{\gamma_{M1}} = \frac{3,15}{1,1} = 2,86 \text{ кН/см}^2$$

мұнда γ_{M1} - тұрақтылық жағдайы бойынша қауіпсіздіктің жеке коэффициенті, $\gamma_{M1} = 1,10$,
2.9.2.2.3 Пункті бойынша СН РК EN 1993-4-2.

и) қабаттың қаттылығын тексеру:

$$n_{x,Ed3} \leq t_3 \sigma_{x,Rd3}$$

$$t_3 \sigma_{x,Rd3} = 0,9 \cdot 2,86 = 2,57 \frac{\text{кН}}{\text{см}}$$

$$0,37 \frac{\text{кН}}{\text{см}} < 2,57 \frac{\text{кН}}{\text{см}} \quad \text{шарт орындалады}$$

5.2.3.4. 4 белдеу

а) жетілмеген w_{ok} амплитудасының қайта таныстыру мағынасы:

$$w_{ok4} = \frac{t_4}{Q} \sqrt{\frac{r}{t_4}} = \frac{0,7}{16} \sqrt{\frac{1425}{0,7}} = 1,97 \text{ см}$$

б) Қысым жоқ жағдайдағы α_0 барында серпінді төмендетілген жетілмеген коэффициент

$$\alpha_{04} = \frac{0,62}{1 + 1,91\psi \left(\frac{w_{ok4}}{t_4}\right)^{1,44}} = \frac{0,62}{1 + 1,91 \cdot 1 \cdot \left(\frac{1,97}{0,7}\right)^{1,44}} = 0,0653$$

қысымның теңсіздігінің параметрі $\psi = 1$, себебі айналымы бойынша тең қысым жағдайы орын алады.

в) жетілмеген қысымның α_{pe} бар жағдайында серпінді төмендетілген коэффициент келесі ретпен анықталады::

– ауыспалы сатыда тұрақтылықтан айырылудың сыни қысымы:

$$\sigma_{x,Rcr4} = \frac{E}{\sqrt{3(1-\nu^2)}} \frac{t_4}{r} = 0,605E \frac{t_4}{r} = 0,605 \cdot 2,1 \cdot 10^4 \cdot \frac{0,7}{1425} = 6,24 \text{ кН/см}^2$$

– аталған есептік нүктеде локалдық қысымның ең төменгі кепілдік мағынасы

$$\bar{p}_{s4} = \frac{p_{s4}r}{t_4 \sigma_{x,Rcr4}} = \frac{92,4 \cdot 10^{-4} \cdot 1425}{0,7 \cdot 6,24} = 3,014$$

мұнда p_s – аталған есептік нүктеде локалды ішкі қысым $p_{s4} = 92,54 \cdot 10^{-4} \text{ кН/см}^2$.

– иілгіш төмендетілген коэффициенттің мағынасы:

$$\alpha_{pe4} = \alpha_{04} + (1 - \alpha_{04}) \left(\frac{\bar{p}_{s4}}{\bar{p}_{s4} + \frac{0,3}{\sqrt{\alpha_{04}}}} \right) = 0,0653 + (1 - 0,0653) \left(\frac{3,014}{3,014 + \frac{0,3}{\sqrt{0,0653}}} \right) = 0,7379$$

г) пластикалық төмендетілген коэффициент жетілмеген жағдайда келесі ретпен анықталады:

– қаралатын нүктеде ең көп локалды қысым, $p_{g4} = 138,6 \cdot 10^{-4} \text{ кН/см}^2$:

$$\bar{p}_{g4} = \frac{p_{g4}}{\sigma_{x,Rcr4}} \frac{r}{t_4} = \frac{138,6 \cdot 10^{-4}}{6,24} \cdot \frac{1425}{0,7} = 4,52$$

–s параметрі

$$s_4 = \left(\frac{1}{400} \right) \left(\frac{r}{t_4} \right) = \left(\frac{1}{400} \right) \left(\frac{1425}{0,7} \right) = 5,09$$

– шартты иілгіш параметрі:

$$\bar{\lambda}_{x4}^2 = \frac{f_y}{\sigma_{x,Rcr4}} = \frac{23,5}{6,24} = 3,77$$

– коэффициент мағынасы:

$$\alpha_{pp4} = \left\{ 1 - \left(\frac{\bar{p}_{s4}}{\bar{\lambda}_{x4}^2} \right)^2 \right\} \left[1 - \frac{1}{1,12 + s_4^{3/2}} \right] \left[\frac{s_4^2 + 1,21\bar{\lambda}_{x4}^2}{s_4(s_4 + 1)} \right]$$

$$\alpha_{pp4} = \left\{ 1 - \left(\frac{3,014}{3,77} \right)^2 \right\} \left[1 - \frac{1}{1,12 + 5,09^{3/2}} \right] \left[\frac{5,09^2 + 1,21 \cdot 3,77}{5,09 \cdot (5,09 + 1)} \right] = 0,3251$$

д) $\alpha_{04} < \alpha_{pp4} < \alpha_{pe4}$ то $\alpha_4 = 0,3251$.

е) тұрақтылықтың төмендеу коэффициенті χ_x , қабаттың λ_x : қатысты иілгіш функциясы ретінде анықталады:

$$\bar{\lambda}_{x4} = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{x,Rcr4}}} = \sqrt{\frac{23,5}{6,24}} = 1,94; \quad \bar{\lambda}_{04} = 0,2 \text{ и } \bar{\lambda}_{p4} = \sqrt{\frac{\alpha_4}{1-\beta}} = \sqrt{\frac{0,3251}{1-0,6}} = 0,902$$

мұнда: $\beta = 0,6$.

$$\text{т. к. } \bar{\lambda}_{p4} \leq \bar{\lambda}_{x4} \text{ то } \chi_{x4} = \frac{\alpha_4}{\bar{\lambda}_{x4}^2} = \frac{0,3251}{1,94} = 0,0863$$

ж) ауыспалы қысымның тұрақтылықтан айырылудағы сипаттамалық мағыналары :

$$\sigma_{x,Rk4} = \chi_{x4} f_y = 0,0863 \cdot 23,5 = 2,03 \text{ кН/см}^2$$

з) тұрақтылықтан айырылуда мембраналық есептік қысымы:

$$\sigma_{x,Rd4} = \frac{\sigma_{x,Rk4}}{\gamma_{M1}} = \frac{2,03}{1,1} = 1,84 \text{ кН/см}^2$$

мұнда γ_{M1} - тұрақтылық жағдайы бойынша қауіпсіздіктің жеке коэффициенті, $\gamma_{M1} = 1,10$,
2.9.2.2.3 Пункт бойынша СН РК EN 1993-4-2.

и) қабаттың қаттылығын тексеру:

$$\begin{aligned} n_{x,Ed4} &\leq t_4 \sigma_{x,Rd4} \\ t_4 \sigma_{x,Rd4} &= 0,7 \cdot 1,84 = 1,29 \frac{\text{кН}}{\text{см}} \\ 0,46 \frac{\text{кН}}{\text{см}} &< 1,29 \frac{\text{кН}}{\text{см}} \quad \text{Шарт орындалады.} \end{aligned}$$

5.2.3.5. 5 Белдеу

а) жетілмеген w_{ok} амплитудасының қайта таныстыру мағынасы:

$$w_{ok5} = \frac{t_5}{Q} \sqrt{\frac{r}{t_5}} = \frac{0,6}{16} \sqrt{\frac{1425}{0,6}} = 1,83 \text{ см}$$

б) Қысым жоқ жағдайдағы α_0 серпінді төмендетілген жетілмеген коэффициент

$$\alpha_{05} = \frac{0,62}{1 + 1,91 \psi \left(\frac{w_{ok5}}{t_5} \right)^{1,44}} = \frac{0,62}{1 + 1,91 \cdot 1 \cdot \left(\frac{1,83}{0,6} \right)^{1,44}} = 0,0591$$

қысымның теңсіздігінің параметрі $\psi = 1$, себебі айналымы бойынша тең қысым жағдайы орын алады.

в) жетілмеген қысымның α_{pe} бар жағдайында серпінді төмендетілген коэффициент келесі ретпен анықталады::

– ауыспалы сатыда тұрақтылықтан айырылудың сыни қысымы:

$$\sigma_{x,Rcr5} = \frac{E}{\sqrt{3(1-\nu^2)}} \cdot \frac{t_5}{r} = 0,605 E \frac{t_5}{r} = 0,605 \cdot 2,1 \cdot 10^4 \cdot \frac{0,6}{1425} = 5,35 \text{ кН/см}^2$$

– аталған есептік нүктеде локалды қысымның ең төменгі кепілдік мағынасы

$$\bar{p}_{s5} = \frac{p_{s5} r}{t_5 \sigma_{x,Rcr5}} = \frac{74,8 \cdot 10^{-4} \cdot 1425}{0,6 \cdot 5,35} = 3,321$$

мұнда p_s – аталған есептік нүктеде локалды ішкі қысым,, $p_{s5} = 74,8 \cdot 10^{-4} \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}$

– иілгіш төмендетілген коэффициенттің мағынасы::

$$\alpha_{pe5} = \alpha_{05} + (1 - \alpha_{05}) \left(\frac{\bar{p}_{s5}}{\bar{p}_{s5} + \frac{0,3}{\sqrt{\alpha_{05}}}} \right) = 0,0591 + (1 - 0,0591) \left(\frac{3,321}{3,321 + \frac{0,3}{\sqrt{0,0591}}} \right) = 0,745$$

г) жетілмеген пластикалық төмендетілген коэффициент келесі ретпен анықталады:

– қаралатын нүктеде ең көп локалды қысым, $p_{g5} = 138,6 \cdot 10^{-4} \text{ кН/см}^2$:

$$\bar{p}_{g5} = \frac{p_{g5}}{\sigma_{x,Rcr5}} \cdot \frac{r}{t_5} = \frac{138,6 \cdot 10^{-4}}{5,35} \cdot \frac{1425}{0,6} = 4,98$$

– s параметрі

$$s_5 = \left(\frac{1}{400}\right)\left(\frac{r}{t_5}\right) = \left(\frac{1}{400}\right)\left(\frac{1425}{0,6}\right) = 5,94$$

– шартты иілгіш квадраты:

$$\bar{\lambda}_{x5}^2 = \frac{f_y}{\sigma_{x,Rcr5}} = \frac{23,5}{5,35} = 4,39$$

– коэффициент мағынасы:

$$\alpha_{pp5} = \left\{1 - \left(\frac{\bar{p}_{s5}}{\bar{\lambda}_{x5}^2}\right)^2\right\} \left[1 - \frac{1}{1,12 + s_5^{3/2}}\right] \left[\frac{s_5^2 + 1,21 \cdot \bar{\lambda}_{x5}^2}{s_5 \cdot (s_5 + 1)}\right]$$

$$\alpha_{pp5} = \left\{1 - \left(\frac{3,321}{4,39}\right)^2\right\} \left[1 - \frac{1}{1,12 + 5,94^{3/2}}\right] \left[\frac{5,94^2 + 1,21 \cdot 4,39}{5,94 \cdot (5,94 + 1)}\right] = 0,395$$

д) $\alpha_{05} < \alpha_{pp5} < \alpha_{pe5}$ то $\alpha_5 = 0,395$.

е) тұрақтылықтың төмендеу коэффициенті χ_x , қабаттың λ_x : қатысты иілгіш функциясы ретінде анықталады:

$$\bar{\lambda}_{x5} = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{x,Rcr5}}} = \sqrt{\frac{23,5}{5,35}} = 2,096; \quad \bar{\lambda}_{05} = 0,2 \text{ и } \bar{\lambda}_{p5} = \sqrt{\frac{\alpha_5}{1 - \beta}} = \sqrt{\frac{0,395}{1 - 0,6}} = 0,994$$

мұнда: $\beta = 0,6$.

$$\text{т.к. } \bar{\lambda}_{p5} \leq \bar{\lambda}_{x5} \text{ то } \chi_{x5} = \frac{\alpha_5}{\bar{\lambda}_{x5}^2} = \frac{0,395}{4,39} = 0,0899$$

ж) ауыспалы қысымның тұрақтылықтан айырылудағы сипаттамалық мағыналары

$$\sigma_{x,Rk5} = \chi_{x5} f_y = 0,0863 \cdot 23,5 = 2,11 \text{ кН/см}^2$$

з) тұрақтылықтан айырылуда мембраналық есептік қысымы:

$$\sigma_{x,Rd5} = \frac{\sigma_{x,Rk5}}{\gamma_{M1}} = \frac{2,11}{1,1} = 1,92 \text{ кН/см}^2$$

Мұнда γ_{M1} — тұрақтылық жағдайы бойынша қауіпсіздіктің жеке коэффициенті,

$\gamma_{M1} = 1,10$ Тармағы бойынша 2.9.2.2.3 СН РК EN 1993-4-2.

Және) қабықшаның тұрақтылығын тексеру:

$$n_{x,Ed5} \leq t_5 \sigma_{x,Rd5}$$

$$t_5 \sigma_{x,Rd5} = 0,6 \cdot 1,92 = 1,15 \frac{\text{кН}}{\text{см}}$$

$$0,48 \frac{\text{кН}}{\text{см}} < 1,15 \frac{\text{кН}}{\text{см}} \quad \text{Шарт орындалады.}$$

5.2.3.6. 6 - Белдеуі

а) жетілмегендік амплитуданың репрезентаттық мағынасы w_{ok} :

$$w_{ok6} = \frac{t_6}{Q} \sqrt{\frac{r}{t_6}} = \frac{0,6}{16} \sqrt{\frac{1425}{0,6}} = 1,83 \text{ см}$$

б) жетілмегендігі бар кезінде серпінді төмендетуші коэффициент α_0 қысымның болмау жағдайларында:

$$\alpha_{06} = \frac{0,62}{1 + 1,91 \psi \left(\frac{w_{ok6}}{t_6}\right)^{1,44}} = \frac{0,62}{1 + 1,91 \cdot 1 \cdot \left(\frac{1,83}{0,6}\right)^{1,44}} = 0,0591$$

Кернеудің әркелкілігі бар параметрі $\psi = 1$, солай болғандықтан біркелкі шеңбердің ықшамдау жағдайы орын алады.

в) жетілмегендігі мен қысымның бар кезіндегі серпінді төмендетуші коэффициент α_{pe}

келесі жүйелілікпен анықталуы керек:

– сыни кернеулердің серпінді сатысында тұрақтылықты жоғалтуы:

$$\sigma_{x,Rcr6} = \frac{E}{\sqrt{3(1-\nu^2)}} \cdot \frac{t_6}{r} = 0,605E \frac{t_6}{r} = 0,605 \cdot 2,1 \cdot 10^4 \cdot \frac{0,6}{1425} = 5,35 \text{ кН/см}^2$$

– жергілікті ішкі қысымның берілген есеп айырысу нүктесінің ең кем кепілді мағынасы:

$$\bar{p}_{s6} = \frac{p_{s6}r}{t_6\sigma_{x,Rcr6}} = \frac{57,2 \cdot 10^{-4} \cdot 1425}{0,6 \cdot 5,35} = 2,54$$

қайдан p_s – берілген есеп айырысу нүктесіндегі жергілікті ішкі қысымның, $p_{s6} = 57,2 \cdot 10^{-4} \text{ кН/см}^2$.

– төмендетуші коэффициенттің тиімді мағынасы:

$$\alpha_{pe6} = \alpha_{06} + (1 - \alpha_{06}) \left(\frac{\bar{p}_{s6}}{\bar{p}_{s6} + \frac{0,3}{\sqrt{\alpha_{06}}}} \right) = 0,0591 + (1 - 0,0591) \left(\frac{2,54}{2,54 + \frac{0,3}{\sqrt{0,0591}}} \right) = 0,6922$$

г) жетілмегендігі мен қысымның бар кезіндегі пластикалық серпінді төмендетуші коэффициент келесі жүйелілікпен анықталу керек:

– қарастырылатын нүктедегі ең үлкен жергілікті қысым, $p_{g6} = 85,8 \cdot 10^{-4} \text{ кН/см}^2$:

$$\bar{p}_{g6} = \frac{p_{g6}}{\sigma_{x,Rcr6}} \cdot \frac{r}{t_6} = \frac{85,8 \cdot 10^{-4}}{5,35} \cdot \frac{1425}{0,6} = 3,81$$

– параметрі s:

$$s_6 = \left(\frac{1}{400} \right) \left(\frac{r}{t_6} \right) = \left(\frac{1}{400} \right) \left(\frac{1425}{0,6} \right) = 5,94$$

– шартты иілгіштік квадраты:

$$\bar{\lambda}_{x6}^2 = \frac{f_y}{\sigma_{x,Rcr6}} = \frac{23,5}{5,35} = 4,39$$

–коэффициенттің мағынасы:

$$\alpha_{pp6} = \left\{ 1 - \left(\frac{\bar{p}_{s6}}{\bar{\lambda}_{x6}^2} \right)^2 \right\} \left[1 - \frac{1}{1,12 + s_6^{3/2}} \right] \left[\frac{s_6^2 + 1,21\bar{\lambda}_{x6}^2}{s_6(s_6 + 1)} \right]$$

$$\alpha_{pp6} = \left\{ 1 - \left(\frac{2,54}{4,39} \right)^2 \right\} \left[1 - \frac{1}{1,12 + 5,94^{3/2}} \right] \left[\frac{5,94^2 + 1,21 \cdot 4,39}{5,94 \cdot (5,94 + 1)} \right] = 0,6137$$

д) т.к. $\alpha_{06} < \alpha_{pp6} < \alpha_{pe6}$ то $\alpha_6 = 0,6137$.

е) тұрақтылықтың төмендеу коэффициенті χ_x қабықшаның салыстырмалы иілгіштіі функциясы ретінде анықталады λ_x :

$$\bar{\lambda}_{x6} = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{x,Rcr6}}} = \sqrt{\frac{23,5}{5,35}} = 2,096; \quad \bar{\lambda}_{06} = 0,2 \text{ и } \bar{\lambda}_{p6} = \sqrt{\frac{\alpha_6}{1-\beta}} = \sqrt{\frac{0,6137}{1-0,6}} = 1,239$$

қайда: $\beta = 0,6$.

$$\text{т.к. } \bar{\lambda}_{p6} \leq \bar{\lambda}_{x6} \text{ то } \chi_{x6} = \frac{\alpha_6}{\bar{\lambda}_{x6}^2} = \frac{0,6137}{4,39} = 0,1397$$

ж) тұрақтылықты жоғалту сыни кернеулерінің сипаттамалық мағынасы:

$$\sigma_{x,Rk6} = \chi_{x6} f_y = 0,1397 \cdot 23,5 = 3,28 \text{ кН/см}^2$$

з) тұрақтылықты жоғалту кезіндегі есеп айырысу мембраналық кернеулері:

$$\sigma_{x,Rd6} = \frac{\sigma_{x,Rk6}}{\gamma_{M1}} = \frac{3,28}{1,1} = 2,98 \text{ кН/см}^2$$

қайда γ_{M1} - қауіпсіздіктің дербес, тұрақтылықтың шекті жағдайына байланысты коэффициенті, $\gamma_{M1} = 1,10$ Тармағы бойынша 2.9.2.2.3 СН РК EN 1993-4-2.

Және) қабықшаның тұрақтылығын тексеру:

$$n_{x,Ed6} \leq t_6 \sigma_{x,Rd6}$$

$$t_6 \sigma_{x,Rd6} = 0,6 \cdot 2,98 = 1,79 \frac{\text{кН}}{\text{см}}$$

$$0,42 \frac{\text{кН}}{\text{см}} < 1,79 \frac{\text{кН}}{\text{см}} \quad \text{Условие выполняется.}$$

5.2.3.7. 7 - Белдеуі

а) жетілмегендік амплитуданың репрезентаттық мағынасы w_{ok} :

$$w_{ok7} = \frac{t_7}{Q} \sqrt{\frac{r}{t_7}} = \frac{0,6}{16} \sqrt{\frac{1425}{0,6}} = 1,83 \text{ см}$$

б) жетілмегендігі бар кезінде серпінді төмендетуші коэффициент α_0 қысымның болмау жағдайларында:

$$\alpha_{07} = \frac{0,62}{1 + 1,91 \psi \left(\frac{w_{ok7}}{t_7} \right)^{1,44}} = \frac{0,62}{1 + 1,91 \cdot 1 \cdot \left(\frac{1,83}{0,6} \right)^{1,44}} = 0,0591$$

Кернеудің әркелкілігі бар параметрі $\psi = 1$, солай болғандықтан біркелкі шеңбердің ықшамдау жағдайы орын алады.

в) жетілмегендігі мен қысымның бар кезіндегі серпінді төмендетуші коэффициент α_{pe} келесі жүйелілікпен анықталуы керек:

– сыни кернеулердің серпінді сатысында тұрақтылықты жоғалтуы:

$$\sigma_{x,Rcr7} = \frac{E}{\sqrt{3(1-\nu^2)}} \cdot \frac{t_7}{r} = 0,605E \frac{t_7}{r} = 0,605 \cdot 2,1 \cdot 10^4 \cdot \frac{0,6}{1425} = 5,35 \text{ кН/см}^2$$

– жергілікті ішкі қысымның берілген есеп айырысу нүктесінің ең кем кепілді мағынасы:

$$\bar{p}_{s7} = \frac{p_{s7} r}{t_7 \sigma_{x,Rcr7}} = \frac{39,6 \cdot 10^{-4} \cdot 1425}{0,6 \cdot 5,35} = 1,758$$

қайда p_s – берілген есеп айырысу нүктесіндегі жергілікті ішкі қысымның, $p_{s7} = 39,6 \cdot 10^{-4} \text{ кН/см}^2$.

– төмендетуші коэффициенттің тиімді мағынасы:

$$\alpha_{pe7} = \alpha_{07} + (1 - \alpha_{07}) \left(\frac{\bar{p}_{s7}}{\bar{p}_{s7} + \frac{0,3}{\sqrt{\alpha_{07}}}} \right) = 0,0591 + (1 - 0,0591) \left(\frac{1,758}{1,758 + \frac{0,3}{\sqrt{0,0591}}} \right) = 0,6119$$

г) жетілмегендігі мен қысымның бар кезіндегі пластикалық серпінді төмендетуші коэффициент келесі жүйелілікпен анықталуы керек:

– қарастырылатын нүктедегі ең үлкен жергілікті қысым, $p_{g7} = 59,4 \cdot 10^{-4} \text{ кН/см}^2$:

$$\bar{p}_{g7} = \frac{p_{g7}}{\sigma_{x,Rcr7}} \cdot \frac{r}{t_7} = \frac{59,4 \cdot 10^{-4}}{5,35} \cdot \frac{1425}{0,6} = 2,64$$

– параметр s :

$$s_7 = \left(\frac{1}{400} \right) \left(\frac{r}{t_7} \right) = \left(\frac{1}{400} \right) \left(\frac{1425}{0,6} \right) = 5,94$$

– шартты иілгіштік квадраты:

$$\bar{\lambda}_{x7}^2 = \frac{f_y}{\sigma_{x,Rcr7}} = \frac{23,5}{5,35} = 4,39$$

–коэффициенттің мағынасы:

$$\alpha_{pp7} = \left\{ 1 - \left(\frac{\bar{p}_{s7}}{\bar{\lambda}_{x7}^2} \right)^2 \right\} \left[1 - \frac{1}{1,12 + s_7^{3/2}} \right] \left[\frac{s_7^2 + 1,21\bar{\lambda}_{x7}^2}{s_7(s_7 + 1)} \right]$$

$$\alpha_{pp7} = \left\{ 1 - \left(\frac{1,758}{4,39} \right)^2 \right\} \left[1 - \frac{1}{1,12 + 5,94^{3/2}} \right] \left[\frac{5,94^2 + 1,21 \cdot 4,39}{5,94 \cdot (5,94 + 1)} \right] = 0,7741$$

д) т. к. $\alpha_{07} < \alpha_{pe7} < \alpha_{pp7}$ то $\alpha_7 = 0,6119$.

е) тұрақтылықтың төмендеу коэффициенті χ_x қабықшаның салыстырмалы иілгіштіі функциясы ретінде анықталады λ_x :

$$\bar{\lambda}_{x7} = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{x,Rcr7}}} = \sqrt{\frac{23,5}{5,35}} = 2,096; \quad \bar{\lambda}_{07} = 0,2 \text{ и } \bar{\lambda}_{p7} = \sqrt{\frac{\alpha_7}{1 - \beta}} = \sqrt{\frac{0,6119}{1 - 0,6}} = 2,096$$

қайда: $\beta = 0,6$.

$$\text{т. к. } \bar{\lambda}_{p7} \leq \bar{\lambda}_{x7} \text{ то } \chi_{x7} = \frac{\alpha_7}{\bar{\lambda}_{x7}^2} = \frac{0,6119}{4,39} = 0,1393$$

ж) тұрақтылықты жоғалту сыни кернеулерінің сипаттамалық мағынасы:

$$\sigma_{x,Rk7} = \chi_{x7} f_y = 0,1393 \cdot 23,5 = 3,27 \text{ кН/см}^2$$

з) тұрақтылықты жоғалту кезіндегі есеп айырысу мембраналық кернеулері:

$$\sigma_{x,Rd7} = \frac{\sigma_{x,Rk7}}{\gamma_{M1}} = \frac{3,27}{1,1} = 2,98 \text{ кН/см}^2$$

Қайда γ_{M1} - қауіпсіздіктің дербес, тұрақтылықтың шекті жағдайына байланысты коэффициенті, $\gamma_{M1} = 1,10$ Тармағы бойынша 2.9.2.2.3 СН РК EN 1993-4-2.

Және) қабықшаның тұрақтылығын тексеру:

$$n_{x,Ed7} \leq t_7 \sigma_{x,Rd7}$$

$$t_7 \sigma_{x,Rd7} = 0,6 \cdot 2,98 = 1,79 \frac{\text{кН}}{\text{см}}$$

$$0,3 \frac{\text{кН}}{\text{см}} < 1,79 \frac{\text{кН}}{\text{см}}$$

5.2.3.8. 8- Белдеуі

а) жетілмегендік амплитуданың репрезентаттық мағынасы w_{ok} :

$$w_{ok8} = \frac{t_8}{Q} \sqrt{\frac{r}{t_8}} = \frac{0,6}{16} \sqrt{\frac{1425}{0,6}} = 1,83 \text{ см}$$

б) жетілмегендігі бар кезінде серпінді төмендетуші коэффициент α_0 қысымның болмау жағдайларында:

$$\alpha_{08} = \frac{0,62}{1 + 1,91\psi \left(\frac{w_{ok8}}{t_8} \right)^{1,44}} = \frac{0,62}{1 + 1,91 \cdot 1 \cdot \left(\frac{1,83}{0,6} \right)^{1,44}} = 0,0591$$

Кернеудің әркелкілігі бар параметрі $\psi = 1$, солай болғандықтан біркелкі шеңбердің ықшамдау жағдайы орын алады.

в) жетілмегендігі мен қысымның бар кезіндегі серпінді төмендетуші коэффициент α_{pe} келесі жүйелілікпен анықталуы керек:

– сыни кернеулердің серпінді сатысында тұрақтылықты жоғалтуы:

$$\sigma_{x,Rcr8} = \frac{E}{\sqrt{3(1-\nu^2)}} \cdot \frac{t_8}{r} = 0,605E \frac{t_8}{r} = 0,605 \cdot 2,1 \cdot 10^4 \cdot \frac{0,6}{1425} = 5,35 \text{ кН/см}^2$$

– жергілікті ішкі қысымның берілген есеп айырысу нүктесінің ең кем кепілді мағынасы:

$$\bar{p}_{s8} = \frac{p_{s8}r}{t_8\sigma_{x,Rcr8}} = \frac{22 \cdot 10^{-4} \cdot 1425}{0,6 \cdot 5,35} = 0,977$$

қайда p_s – берілген есеп айырысу нүктесіндегі жергілікті ішкі қысымның, $p_{s8} = 22 \cdot 10^{-4} \text{ кН/см}^2$.

– төмендетуші коэффициенттің тиімді мағынасы:

$$\alpha_{pe8} = \alpha_{08} + (1 - \alpha_{08}) \left(\frac{\bar{p}_{s8}}{\bar{p}_{s8} + \frac{0,3}{\sqrt{\alpha_{08}}}} \right) = 0,0591 + (1 - 0,0591) \left(\frac{0,977}{0,977 + \frac{0,3}{\sqrt{0,0591}}} \right) = 0,4747$$

г) жетілмегендігі мен қысымның бар кезіндегі пластикалық серпінді төмендетуші коэффициент келесі жүйелілікпен анықталу керек:

– қарастырылатын нүктедегі ең үлкен жергілікті қысым, $p_{g8} = 33 \cdot 10^{-4} \text{ кН/см}^2$:

$$\bar{p}_{g8} = \frac{p_{g8}}{\sigma_{x,Rcr8}} \cdot \frac{r}{t_8} = \frac{33 \cdot 10^{-4}}{5,35} \cdot \frac{1425}{0,6} = 1,47$$

– параметрі s:

$$s_8 = \left(\frac{1}{400} \right) \left(\frac{r}{t_8} \right) = \left(\frac{1}{400} \right) \left(\frac{1425}{0,6} \right) = 5,94$$

– шартты иілгіштік квадраты:

$$\bar{\lambda}_{x8}^2 = \frac{f_y}{\sigma_{x,Rcr8}} = \frac{23,5}{5,35} = 4,39$$

–коэффициенттің мағынасы:

$$\alpha_{pp8} = \left\{ 1 - \left(\frac{\bar{p}_{s8}}{\bar{\lambda}_{x8}^2} \right)^2 \right\} \left[1 - \frac{1}{1,12 + s_8^{3/2}} \right] \left[\frac{s_8^2 + 1,21\bar{\lambda}_{x8}^2}{s_8(s_8 + 1)} \right]$$

$$\alpha_{pp8} = \left\{ 1 - \left(\frac{0,977}{4,39} \right)^2 \right\} \left[1 - \frac{1}{1,12 + 5,94^{3/2}} \right] \left[\frac{5,94^2 + 1,21 \cdot 4,39}{5,94 \cdot (5,94 + 1)} \right] = 0,8762$$

д) т.к. $\alpha_{08} < \alpha_{pe8} < \alpha_{pp8}$ то $\alpha_8 = 0,4747$.

е) тұрақтылықтың төмендеу коэффициенті χ_x қабықшаның салыстырмалы иілгіштіі функциясы ретінде анықталады λ_x :

$$\bar{\lambda}_{x8} = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{x,Rcr8}}} = \sqrt{\frac{23,5}{5,35}} = 2,096; \quad \bar{\lambda}_0 = 0,2 \text{ и } \bar{\lambda}_{p8} = \sqrt{\frac{\alpha_8}{1 - \beta}} = \sqrt{\frac{0,4747}{1 - 0,6}} = 1,089$$

қайда: $\beta = 0,6$.

$$\text{т.к. } \bar{\lambda}_{p8} \leq \bar{\lambda}_{x8} \text{ то } \chi_{x8} = \frac{\alpha_8}{\bar{\lambda}_{x8}^2} = \frac{0,4747}{4,39} = 0,1081$$

ж) тұрақтылықты жоғалту сыни кернеулерінің сипаттамалық мағынасы:

$$\sigma_{x,Rk8} = \chi_{x8} \cdot f_y = 0,1081 \cdot 23,5 = 2,54 \text{ кН/см}^2$$

з) тұрақтылықты жоғалту кезіндегі есеп айырысу мембраналық кернеулері:

$$\sigma_{x,Rd8} = \frac{\sigma_{x,Rk8}}{\gamma_{M1}} = \frac{2,54}{1,1} = 2,31 \text{ кН/см}^2$$

қайда γ_{M1} - қауіпсіздіктің дербес, тұрақтылықтың шекті жағдайына байланысты коэффициенті, $\gamma_{M1} = 1,10$ Тармағы бойынша 2.9.2.2.3 СН РК EN 1993-4-2.

Және) қабықшаның тұрақтылығын тексеру:

$$n_{x,Ed8} \leq t_8 \sigma_{x,Rd8}$$

$$t_8 \cdot \sigma_{x,Rd8} = 0,6 \cdot 2,31 = 1,39 \frac{\text{кН}}{\text{см}}$$

$$0,23 \frac{\text{кН}}{\text{см}} < 1,39 \frac{\text{кН}}{\text{см}}$$

5.2.3.9. 9-Белдеуі

а) жетілмегендік амплитуданың репрезентаттық мағынасы w_{ok} :

$$w_{ok9} = \frac{t_9}{Q} \sqrt{\frac{r}{t_9}} = \frac{0,6}{16} \sqrt{\frac{1425}{0,6}} = 1,83 \text{ см}$$

б) жетілмегендігі бар кезінде серпінді төмендетуші коэффициент α_0 қысымның болмау жағдайларында:

$$\alpha_{09} = \frac{0,62}{1 + 1,91 \psi \left(\frac{w_{ok9}}{t_9} \right)^{1.44}} = \frac{0,62}{1 + 1,91 \cdot 1 \cdot \left(\frac{1,83}{0,6} \right)^{1.44}} = 0,0591$$

Кернеудің әркелкілігі бар параметрі $\psi = 1$, солай болғандықтан біркелкі шеңбердің ықшамдау жағдайы орын алады.

в) жетілмегендігі мен қысымның бар кезіндегі серпінді төмендетуші коэффициент α_{pe} келесі жүйелілікпен анықталуы керек:

– сыни кернеулердің серпінді сатысында тұрақтылықты жоғалтуы: $\sigma_{x,Rcr9} = \frac{E}{\sqrt{3 \cdot (1 - \nu^2)}} \cdot \frac{t_9}{r} =$
 $0,605 E \frac{t_9}{r} = 0,605 \cdot 2,1 \cdot 10^4 \cdot \frac{0,6}{1425} = 5,35 \text{ кН/см}^2$

– жергілікті ішкі қысымның берілген есеп айырысу нүктесінің ең кем кепілді мағынасы:

$$\bar{p}_{s9} = \frac{p_{s9} r}{t_9 \sigma_{x,Rcr9}} = \frac{4,4 \cdot 10^{-4} \cdot 1425}{0,6 \cdot 5,35} = 0,195$$

қайда p_s – берілген есеп айырысу нүктесіндегі жергілікті ішкі қысымның, $p_{s9} = 4,4 \cdot 10^{-4} \text{ кН/см}^2$.

– төмендетуші коэффициенттің тиімді мағынасы:

$$\alpha_{pe9} = \alpha_{09} + (1 - \alpha_{09}) \left(\frac{\bar{p}_{s9}}{\bar{p}_{s9} + \frac{0,3}{\sqrt{\alpha_{09}}}} \right) = 0,0591 + (1 - 0,0591) \left(\frac{0,195}{0,195 + \frac{0,3}{\sqrt{0,0591}}} \right) = 0,1876$$

г) жетілмегендігі мен қысымның бар кезіндегі пластикалық серпінді төмендетуші коэффициент келесі жүйелілікпен анықталуы керек:

– қарастырылатын нүктедегі ең үлкен жергілікті қысым, $p_{g9} = 6,6 \cdot 10^{-4} \text{ кН/см}^2$:

$$\bar{p}_{g9} = \frac{p_{g9}}{\sigma_{x,Rcr9}} \cdot \frac{r}{t_9} = \frac{6,6 \cdot 10^{-4}}{5,35} \cdot \frac{1425}{0,6} = 0,29$$

– параметрі s :

$$s_9 = \left(\frac{1}{400} \right) \left(\frac{r}{t_9} \right) = \left(\frac{1}{400} \right) \left(\frac{1425}{6} \right) = 5,94$$

– шартты иілгіштік квадраты:

$$\bar{\lambda}_{x9}^2 = \frac{f_y}{\sigma_{x,Rcr9}} = \frac{23,5}{5,35} = 4,39$$

– коэффициенттің мағынасы:

$$\alpha_{pp9} = \left\{ 1 - \left(\frac{\bar{p}_{s9}}{\bar{\lambda}_{x9}^2} \right)^2 \right\} \left[1 - \frac{1}{1,12 + s_9^{3/2}} \right] \left[\frac{s_9^2 + 1,21 \cdot \bar{\lambda}_{x9}^2}{s_9(s_9 + 1)} \right]$$

$$\alpha_{pp9} = \left\{ 1 - \left(\frac{0,195}{4,39} \right)^2 \right\} \left[1 - \frac{1}{1,12 + 5,94^{3/2}} \right] \left[\frac{5,94^2 + 1,21 \cdot 4,39}{5,94 \cdot (5,94 + 1)} \right] = 0,9199$$

д) т.к. $\alpha_{09} < \alpha_{pe9} < \alpha_{pp9}$ то $\alpha_9 = 0,1876$.

е) тұрақтылықтың төмендеу коэффициенті χ_x қабықшаның салыстырмалы иілгіштіі функциясы ретінде анықталады λ_x :

$$\bar{\lambda}_{x9} = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{x,Rcr9}}} = \sqrt{\frac{23,5}{5,35}} = 2,096; \quad \bar{\lambda}_0 = 0,2 \text{ и } \bar{\lambda}_{p9} = \sqrt{\frac{\alpha_9}{1 - \beta}} = \sqrt{\frac{0,1876}{1 - 0,6}} = 0,685$$

қайда: $\beta = 0,6$.

$$\text{т.к. } \bar{\lambda}_{p9} \leq \bar{\lambda}_{x9} \text{ то } \chi_{x9} = \frac{\alpha_9}{\bar{\lambda}_{x9}^2} = \frac{0,1876}{4,39} = 0,0427$$

ж) тұрақтылықты жоғалту сыни кернеулерінің сипаттамалық мағынасы:

$$\sigma_{x,Rk9} = \chi_{x9} f_y = 0,0427 \cdot 23,5 = 1,00 \text{ кН/см}^2$$

з) тұрақтылықты жоғалту кезіндегі есеп айырысу мембраналық кернеулері:

$$\sigma_{x,Rd9} = \frac{\sigma_{x,Rk9}}{\gamma_{M1}} = \frac{1}{1,1} = 0,91 \text{ кН/см}^2$$

қайда γ_{M1} - қауіпсіздіктің дербес, тұрақтылықтың шекті жағдайына байланысты коэффициенті, $\gamma_{M1} = 1,10$ по Пункту 2.9.2.2.3 СН РК EN 1993-4-2.

Және) қабықшаның тұрақтылығын тексеру:

$$n_{x,Ed9} \leq t_9 \cdot \sigma_{x,Rd9}$$

$$t_9 \sigma_{x,Rd9} = 0,6 \cdot 0,91 = 0,55 \frac{\text{кН}}{\text{см}}$$

$$0,21 \frac{\text{кН}}{\text{см}} < 0,55 \frac{\text{кН}}{\text{см}} \quad \text{Условие выполняется.}$$

5.2.4. Желдің қысымы кезіндегі бос сұйыққойманың тұрақтылығы бойынша есеп айыру әдістемесі

а) изотроптық қабырғаның тұрақтылығын жоғалтудағы сыни сыртқы қысымы Формула бойынша анықталады 5.38 СН РК EN 1993-4-1:

$$p_{n,Rcru} = 0,92 \cdot C_b \cdot C_w \cdot E \cdot \left(\frac{r}{l} \right) \cdot \left(\frac{t}{r} \right)^{2,5}$$

қайда t – қарастырылудағы белдеудің қалыңдығының ең жіңішке бөлігі (см);

$r = 1425$ см – сұйыққойманың аумағы;

l – қаттылық шығыршықтардың мен сегменттің шекаралығының арасындағы арақашықтық; бұрыннан бастап қаттылық шығыршықтары сұйыққойма бойынша жоқ екендігі бағамдалады, сондықтан $l = H_{\text{стенки}} = 1800$ см;

$E = 2,1 \cdot 10^4$ кН/см² – құрыштың серпінділік модулі;

C_b – қысымның сыртқы ықпалы арқылы бой аралық бүгілістің коэффициенті;

Коэффициент $C_b = 1,0$ Кесте бойынша 5.2 СН РК EN 1993-4-1, өйткені шатыр толығымен қабырғамен байланысты.

C_w – жел қысымының таратылу коэффициенті.

Сұйыққойма жеке тұратын боғандықтан және тек қана жел кернеуінің ықпалында болғандықтан, жел қысымын тарату коэффициенті, сұйыққойманың жел жақ бетіне жататын қасымның, Тармақтың ең көп мағынасы болып есептеледі 5.3.2.5 (8) СН РК EN 1993-4-1:

$$C_w = \max \left\{ \frac{2,2}{\left(1 + 0,1 \cdot \sqrt{C_b \cdot \frac{r}{l} \cdot \sqrt{\frac{r}{t}}} \right)}; \right. \\ \left. 1,0; \right.$$

б) ең жоғары деңгейдегі сыртқы есеп айырысу қысымы, жел ықпалындағы және/немесе ішінара вакуумы Формула бойынша анықталады 5.41 СН РК EN 1993-4-1:

$$p_{n,Rd} = \frac{\alpha_n \cdot p_{n,Rcru}}{\gamma_{M1}}$$

қайда α_n - жетілмегендігі бар кезінде серпінді төмендетуші коэффициент, $\alpha_n = 0,5$ Тармағы бойынша 5.3.2.5 (10) СН РК EN 1993-4-1.

γ_{M1} - тұрақтылықтың шекті жағдайына байланысты қауіпсіздіктің жеке коэффициенті, $\gamma_{M1} = 1,10$ Тармағы бойынша 2.9.2.2.3 СН РК EN 1993-4-2.

в) тұрақтылықты қамтамасыз ететін салмақ түсетін мүмкіншілік келесі жағдайларды қанағаттандыру керек:

$$p_{n,Ed} \leq p_{n,Rd}$$

қайда $p_{n,Ed}$ - ең жоғары деңгейдегі желдің сыртқы қысымының есеп айырысу мағынасы, 3 Кесте бойынша қабылданады.

5.2.5. Белдеу бойынша тұрақтылықты есептеу

5.2.5.1. 1 белдеу

Жел қысымының үлестіру коэффициентін анықтаймыз, C_w :

$$C_w = \max \left\{ \frac{2,2}{\left(1 + 0,1 \cdot \sqrt{C_b \cdot \frac{r}{l} \cdot \sqrt{\frac{r}{t}}} \right)} = \frac{2,2}{\left(1 + 0,1 \cdot \sqrt{1 \cdot \frac{1425}{1800} \cdot \sqrt{\frac{1425}{1,2}}} \right)} = 1,445; \right. \\ \left. 1,0; \right.$$

Қабылдаймыз $C_w = 1,445$.

Изотропты қабырғаның тұрақтылығы шығынының сыни сыртқы қысымын анықтаймыз:

$$p_{n,Rcru} = 0,92 \cdot C_b \cdot C_w \cdot E \cdot \left(\frac{r}{l} \right) \cdot \left(\frac{t}{r} \right)^{2,5} = \\ = 0,92 \cdot 1 \cdot 1,445 \cdot 2,1 \cdot 10^4 \cdot \left(\frac{1425}{1800} \right) \cdot \left(\frac{1,2}{1425} \right)^{2,5} = 0,455 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}$$

Желдің әсерімен сыртқы қысымның максималды есебін анықтаймыз:

$$p_{n,Rd} = \frac{\alpha_n \cdot p_{n,Rcru}}{\gamma_{M1}} = \frac{0,5 \cdot 0,455 \cdot 10^{-3}}{1,1} = 0,207 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}$$

3 кесте бойынша $p_{n,Ed} = 0,029 \cdot 10^{-3} \text{ кН/см}^2$

Осылайша

$$p_{n,Ed} = 0,029 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} < p_{n,Rd} = 0,207 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}$$

Бос резервуардың 1 белбеуінің тұрақтылығы желдің қысымы кезінде қамтамасыз етілген.

5.2.5.2. 2 белдеу

Жел қысымын үлестіру коэффициентін анықтау, C_w :

$$C_w = \max \left\{ \frac{2,2}{\left(1 + 0,1 \cdot \sqrt{C_b \cdot \frac{r}{l} \cdot \sqrt{\frac{r}{t}}}\right)} = \frac{2,2}{\left(1 + 0,1 \cdot \sqrt{1 \cdot \frac{1425}{1800} \cdot \sqrt{\frac{1425}{1,0}}}\right)} = 1,422; \right. \\ \left. 1,0; \right.$$

Аламыз $C_w = 1,422$.

Изотропты қабырғаның тұрақтылығын жоғалтудың сыни сыртқы қысымын анықтаймыз:

$$p_{n,Rcru} = 0,92 \cdot C_b \cdot C_w \cdot E \cdot \left(\frac{r}{l}\right) \cdot \left(\frac{t}{r}\right)^{2,5} = \\ = 0,92 \cdot 1 \cdot 1,422 \cdot 2,1 \cdot 10^4 \cdot \left(\frac{1425}{1800}\right) \cdot \left(\frac{1,0}{1425}\right)^{2,5} = 0,284 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}$$

Желдің әерімен максималды есептік сыртқы қысымды анықтаймыз:

$$p_{n,Rd} = \frac{\alpha_n \cdot p_{n,Rcru}}{\gamma_{M1}} = \frac{0,5 \cdot 0,284 \cdot 10^{-3}}{1,1} = 0,129 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}$$

3-кесте бойынша $p_{n,Ed} = 0,029 \cdot 10^{-3} \text{ кН/см}^2$

Осылайша $p_{n,Ed} = 0,029 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} < p_{n,Rd} = 0,129 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}$

Жел қысымы кезінде бос резервуардың 2-ші белбеуінің тұрақтылығы.

5.2.5.3. 3 белдеу

Жел қысымын тарату коэффициентін анықтаймыз, C_w :

$$C_w = \max \left\{ \frac{2,2}{\left(1 + 0,1 \cdot \sqrt{C_b \cdot \frac{r}{l} \cdot \sqrt{\frac{r}{t}}}\right)} = \frac{2,2}{\left(1 + 0,1 \cdot \sqrt{1 \cdot \frac{1425}{1800} \cdot \sqrt{\frac{1425}{0,9}}}\right)} = 1,409; \right. \\ \left. 1,0; \right.$$

Аламыз $C_w = 1,409$.

Изотропты қабырғаның тұрақтылығы шығынының сыни сыртқы қысымын анықтаймыз:

$$p_{n,Rcru} = 0,92 \cdot C_b \cdot C_w \cdot E \cdot \left(\frac{r}{l}\right) \cdot \left(\frac{t}{r}\right)^{2,5} = \\ = 0,92 \cdot 1 \cdot 1,409 \cdot 2,1 \cdot 10^4 \cdot \left(\frac{1425}{1800}\right) \cdot \left(\frac{0,9}{1425}\right)^{2,5} = 0,216 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}$$

Жел әсерімен максималды есептік сыртқы қысымды анықтаймыз:

$$p_{n,Rd} = \frac{\alpha_n \cdot p_{n,Rcru}}{\gamma_{M1}} = \frac{0,5 \cdot 0,216 \cdot 10^{-3}}{1,1} = 0,098 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}$$

3-кесте бойынша $p_{n,Ed} = 0,029 \cdot 10^{-3} \text{ кН/см}^2$

Осылайша

$$p_{n,Ed} = 0,029 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} < p_{n,Rd} = 0,098 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}$$

Жел қысымы кезіндегі бос резервуардың 3-ші белбеуінің тұрақтылығы қамтамасыз етілген.

5.2.5.4. 4-белдеу

Жел қысымын тарату коэффициентін анықтаймыз, C_w :

$$C_w = \max \left\{ \frac{2,2}{\left(1 + 0,1 \cdot \sqrt{C_b \cdot \frac{r}{l} \cdot \sqrt{\frac{r}{t}}}\right)} = \frac{2,2}{\left(1 + 0,1 \cdot \sqrt{1 \cdot \frac{1425}{1800} \cdot \sqrt{\frac{1425}{0,7}}}\right)} = 1,377; \right. \\ \left. 1,0; \right.$$

Аламыз $C_w = 1,377$.

Изотропты қабырғаның тұрақтылығы шығынының сыни сыртқы қысымын анықтаймыз:

$$p_{n,Rcu} = 0,92 \cdot C_b \cdot C_w \cdot E \cdot \left(\frac{r}{l}\right) \cdot \left(\frac{t}{r}\right)^{2,5} = \\ = 0,92 \cdot 1 \cdot 1,377 \cdot 2,1 \cdot 10^4 \cdot \left(\frac{1425}{1800}\right) \cdot \left(\frac{0,7}{1425}\right)^{2,5} = 0,113 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}$$

Желдің әсерімен максималды есептік сыртқы қысымды анықтаймыз:

$$p_{n,Rd} = \frac{\alpha_n \cdot p_{n,Rcu}}{\gamma_{M1}} = \frac{0,5 \cdot 0,113 \cdot 10^{-3}}{1,1} = 0,051 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}$$

3 Кестесі бойынша $p_{n,Ed} = 0,033 \cdot 10^{-3} \text{ кН/см}^2$

Осылайша

$$p_{n,Ed} = 0,033 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} < p_{n,Rd} = 0,051 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}$$

Бос резервуардың 4-ші белбеуінің тұрақтылығы жел қысымы кезінде қамтамасыз етілген.

5.2.5.5. 5...9 белбеуінікі

Жел қысымын тарату коэффициентін анықтаймыз, C_w :

$$C_w = \max \left\{ \frac{2,2}{\left(1 + 0,1 \cdot \sqrt{C_b \cdot \frac{r}{l} \cdot \sqrt{\frac{r}{t}}}\right)} = \frac{2,2}{\left(1 + 0,1 \cdot \sqrt{1 \cdot \frac{1425}{1800} \cdot \sqrt{\frac{1425}{0,6}}}\right)} = 1,357; \right. \\ \left. 1,0; \right.$$

Аламыз $C_w = 1,357$.

Изотропты тұрақтылықты шығындаудың сыни сыртқы қысымын анықтаймыз:

$$p_{n,Rcu} = 0,92 \cdot C_b \cdot C_w \cdot E \cdot \left(\frac{r}{l}\right) \cdot \left(\frac{t}{r}\right)^{2,5} = \\ = 0,92 \cdot 1 \cdot 1,357 \cdot 2,1 \cdot 10^4 \cdot \left(\frac{1425}{1800}\right) \cdot \left(\frac{0,6}{1425}\right)^{2,5} = 0,076 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}$$

Жел әсерімен максималды есептік сыртқы қысымды анықтаймыз:

$$p_{n,Rd} = \frac{\alpha_n \cdot p_{n,Rcu}}{\gamma_{M1}} = \frac{0,5 \cdot 0,076 \cdot 10^{-3}}{1,1} = 0,034 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}$$

3 кестесі бойынша $p_{n,Ed} = (0,038 - 0,047) \cdot 10^{-3} \text{ кН/см}^2$

Осылайша

$$p_{n,Ed} = (0,038 - 0,047) \cdot 10^{-3} \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} > p_{n,Rd} = 0,034 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}$$

Жел қысымы кезінде бос резервуардың 5 қалған жоғары жатқан белбеулердің тұрақтылығы.

5...9 белбеулерінің тұрақтылығын қамтамасыз ету үшін белбеудің қалыңдығын орнату керек, немесе қабырғаның тұрақтылығын қамтамасыз ететін (ҚР ҚН ЕН 1993-4-2, 11.3.2 Тармағының нұсқауларын қолдана отырып, немесе басқа да есептің дұрыс әдістерін қолдана отырып) қосымша элементтерді (шығыршықты қабырғалар) орнату қажет.

5.3. Әлсіздік бойынша шекті күйді тексеру қажет етілмейді, өйткені резервуарға құю циклының саны $N_f < 10\,000$ (ҚР ҚН EN 1993-4-2 - 4.1.4.3 тармағын қараңыз).

5.4. Аз циклды әлсіздіктің шекті күйін құюдың сирек циклы кезінде талап етілмейді (ҚР ҚН EN 1993-4-2 - 4.1.4.1).

5.4 Тіреулер мен қуыстар

5.4.1 Юбкасына тірелген қабықша

5.4.1.1 Юбкаға қабықша тірелген жағдайда мұндай конструкцияны жобалау ҚР ҚН EN 1993-4-1 және ҚР ҚН EN 1993-4-1 – НТҚ көрсетілген ережелер мен принциптердің негізінде жүзеге асырылады.

ЕСКЕРТПЕ «Юбкасына сүйену» термині қабықшаның контурын қайталайтын тік тіреуге контурдың бойымен қабықшаның тірелуі дегенді білдіреді (сурет 5.6 ҚР ҚН EN 1993-4-1); юбканың сипаттамалары ҚР ҚН EN 1993-4-1. 5.4.2 тармағының талаптарына жауап беруі керек.

5.4.2 Жартылай қабырғаға жалғасқан ұстындарға тірелген цилиндрлік қабықша

5.4.2.1 Жобалау кезінде ұстындарға цилиндрлік қабықшаның тірелуі кезінде ҚР ҚН EN 1993-4-1 және НТҚ ҚР ҚН EN 1993-4-1 басшылыққа алу керек.

5.4.3 Жеке орналасқан тіректерге тірелген цилиндрлік қабықша

5.4.3.1 Цилиндрлік қабықшаның жеке орналасқан тіректерге (оның ішінде цилиндр қабықшасын негіздемесіне дискретті түрде бекіту) жобалау кезінде ҚР ҚН EN 1993-4-1 және НТҚ ҚР ҚН EN 1993-4-1 тиісті нұсқауларын басшылыққа алу керек

5.4.4 Воронка астында орналасқан жеке тұрған ұстындарға тірелген резервуар

5.4.4.1 Резервуар воронка астында орналасқан жеке тұрған ұстындарға тірелген жағдайда, жобалау кезінде ҚР ҚН EN 1993-4-1 және НТҚ ҚР ҚН EN 1993-4-1 нұсқауларын басшылыққа алу керек.

5.4.5 Жүктемені цилиндрлік қабырғаларға жергілікті берілуі

5.4.5.1 Цилиндр қабырғасы астындағы жергілікті тіректер

5.4.6.1.1 Цилиндр қабырғасы астындағы жергілікті тіректер ҚР ҚН EN 1993-4-1 талаптарын қанағаттандыруы керек.

5.4.5.2 Цилиндр қабырғаларына күшті беру үшін жергілікті қабырғалар

5.4.6.2.1 Цилиндр қабырғаларына күшті беруге арналған жергілікті қабырғалар СП РК EN 1993-4-1 талаптарын қанағаттандыруы керек.

5.4.6 Резервуардың қабырғаларындағы қуыстар

5.4.6.1 Жалпы ережелер

5.4.6.1.1 Егер цилиндрлік қабырғадағы қуыс болған жағдайда егер оның салмақ түсетін қабілеттілігі немесе тұрақтылығы төмендететін болса (жалпы немесе жергілікті), ол күшейтілуі керек.

5.4.6.1.2 Мұндай күшейтуге келесі арқылы қол жеткізуге болады:

- қабырғаның қалыңдығын ұлғайту;
- күшейтетін төсемді орнату;
- келте құбырдың әсерін ескере отырып.

ЕСКЕРТПЕ Беріктілікті тексері кезінде (LS1 пластикалық бұзылуының шекті күйі) негізінен сыртқы жүктемелердің жоғары деңгейі бар (резервуарлар үшін бұл белбеуден төмен, оларға гидростатикалық қысымның анағұрлым үлкен шамасы ықпал етеді) учаскелер, облыстардың тексерілетіндігін ескеру қажет, ал тұрақтылықты тексеру негізінен осы учаскелерге әсер ететін (резервуарлар үшін бұл қабырғаның жоғарғы белбеулері, олардың қалыңдығы тұрақтылыққа деген есеппен анықталады) жүктеменің онша үлкен емес мәндерінің салдарынан шағын қалыңдықпен жүргізіледі.

5.4.6.2 Шағын өлшемді келте құбырлары

5.4.6.2.1 80 мм сыртқы диаметрлі келте құбырлар шағын өлшемді келте құбырлар сияқты жіктеледі.

5.4.6.2.2 шағын өлшемді келте құбырларды қосу кезінде кесу орнын күшейтуді жүргізбесе де болады, егер келте құбыр жанындағы қабырға қалыңдығы 5.1 Кестеде көрсетілгеннен аз болса.

5.1-кесте – Күшейтілмеген қуыстар құрылғысы үшін резервуардың минималды рұқсат етілген қалыңдығы

Люк немесе келте құбырдың сыртқы диаметрі d_n (мм)	Минималды номиналды қалыңдығы $t_{ref,n}$ (мм)	
	Көміртекті болат	Аустенитті болат және аустенит-ферритті тот баспайтын болат
$d_n \leq 50$	5,0	3,5
$50 < d_n \leq 75$	5,5	5,0
$75 < d_n \leq 80$	7,5	6,0

5.4.6.3 LS1 пластикалық деформацияларының шекті дамуын ескере отырып үлкен өлшемді келте құбырлар мен люктерді жобалау

5.4.6.3.1 Құбырлар мен келте құбырлар 80 мм –ден астам ішкі диаметрімен үлкен өлшемді деп топталады.

5.4.6.3.2 Күшеюі алаңның ұлғаюымен немесе кесік алаңының ұлғаюы арқылы (3) және (4) Тармақтарына сәйкес ,немесе және (5) және және (6) Тармақтарында суреттелген әдістемелер арқылы орындалуы мүмкін.

5.4.6.3.3 Көлденең кесіктің қосымша қажетті алаңы ΔA саңылауының күшеюіне арналған, саңылаудың орталығы арқылы өтетін қабырғаның тік кесігі арқылы есептеледі:

$$\Delta A = 0.75 \cdot d \cdot t_{ref} \quad (5.1)$$

қайда d – бұл кесілетін саңылаудың диаметрі;

t_{ref} – саңылаусыз қабырғаның жобалық қалыңдығы, LS1 шекті пластикалық жағдайлары арқылы анықталған.

5.4.6.3.4 Алаңның күшеюі ΔA келесі үш әдістердің бір немесе әртүрлі қисындастыру арқылы қамтамасыз етілуі мүмкін::

а) Құбыр немесе келте құбырлардың тікелей ықпал ету есебі. Күшеюі алаңын анықтау кезінде ΔA құбыр мен келте құбырлардың бір бөлігі ескеріледі, қабықшаның үстіңгі бетінің келте құбырларының (құбыр) төрттен кем қалыңдығы қашықтығында тұратын, берілген қарастырылатын аймақ бойынша құбыр немесе келте құбырдың қалыңдығы өзгерісі болмайтын жағдайда;

б) сұйыққойма қабырғасының белдеуіне қалыңданған қосымша қолдану арқылы, немесе күшейтілген тілімшені орнату арқылы диаметрі $1.5d < d_n \leq 2d$, қайда d_n - құбыр мен келте құбырлардың ішкі диаметрі. Күшейткіш элемент ретінде домалақ сияқты және де тік бұрышты тілімшені қолдануға болады, күшейту алаңының аймағының келтірілген өлшемдерін сақтаған жағдайда;

в) Сұйыққойманың белдеуі ретінде қалыңырақ элементтің қолданылуы. Қалыңдатқан белдеу элементін саңылауға дейін пайдаланылған жиектен арақашықтығы б) осы құрал арқылы Тармағындағы көрсетілген талаптарына сәйкес болу керек.

5.4.6.3.5 Қабырға қиылысының әлсіз қуысын бекіту келте құбырдың көмегімен орындалуы мүмкін., ол $1.17\sqrt{r_m t_{ref,n}}$ кем емес шамаға қабырғаның екі жағынан да шығып тұруы керек. Бұл жағдайда егер келте құбыр резервуардың түбінен 100 мм кем емес қашықтықта болса келте құбырдан күшейтетін әсерді есепке алуға болады (немесе тірек шығыршығы).

5.4.6.3.6 Келте құбырдың тұрқының қалыңдығы f кернеу концентрациясының коэффициенті 2,0 аспайтындай етіп таңдалуы керек. f кернеу концентрациясының коэффициенті y алмасу коэффициентін қолдана отырып 5.1. суреттен алынуы керек. y алмастыру коэффициенті мына формуламен есептеледі:

$$y = 1,56 \frac{t_n}{t} \sqrt{\frac{t_n}{r_m}} + \left(\frac{t_n}{2r_m} \right) \quad (5.2)$$

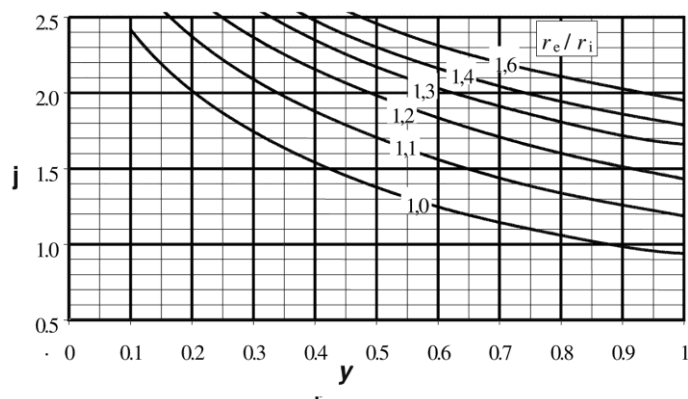
Мұнда t – қабырға қалыңдығы;

t_n – келте құбыр тұрқының қалыңдығы;

r_m – келте құбырдың орташа радиусы (келте құбырдың орта бетінің радиусы);

r_e – келте құбырдың сыртқы радиусы;

r_i – келте құбырдың ішкі радиусы.



j – кернеу концентрациясының коэффициенті; y – алмастыру коэффициенті

8.1 Сурет – Цилиндрлік нысанның күшейтілген келте құбырлары үшін кернеуді концентрациялау коэффициенті

5.4.6.4 Қабырғадағы қуысты ескере отырып LS3 жағдайы бойынша жобалау мен есептеу

5.4.6.4.1 Тұрақтылыққа есептеу кезінде қуыстың болуын елемеуге болады, егер қуыстың параметрі $\eta < \eta_{\max} = 0,6$ болса. Параметр η мына формуламен анықталады:

$$\eta = \frac{r_0}{\sqrt{rt}} \quad (5.3)$$

Мұнда r – қуыстың орталығы бойынша өлшенген цилиндр қабықшасының радиусы; t – қуыстың орнындағы резервуардың қабырғасына (жекелей алғанда қаттылық қабырғалары) бекітілмеген қалыңдығы ;

r_0 – қуыстың радиусы.

5.4.6.4.2 Тік бұрышты қуыс болған кезде қабырғаның тұрақтылығын есептеу кезінде r_0 балама радиусының мәнін қолдана отырып (5.3) Формуласы бойынша анықталады, балама радиусының мәні келесі формула бойынша анықталады:

$$r_0 = \frac{a + b}{4} \quad (5.4)$$

Мұндағы a және b – тік бұрышты қуыстың тік және көлденең мөлшерлеріне сәйкес.

5.4.6.4.3 Егер r_0 қуысының (а) радиусы цилиндрлік қабықшаның r радиусынан кем дегенде үштен бірін құрайтын болса және қуыстың көлденең қиылысының (б) ауданы тік қиылыста ΔA , күшеюінің көлденең қиылысының ауданынан аз болса, тұрақтылыққа қабықшаны есептеу кезінде қуыстың ықпалын ескермеу керек. Күшейтілуі маеридионалды бағытта қаттылық қабырғаларын орнату жолымен немесе (келте құбырлардың өздерін есепке алу, қалың ендірмелерді орнату, қосымша күшейту төсемдерін орнату, белбеу табақтарының қалыңдығын үлкейту) 5.4.6.3 және 5.4.6.4 Тармақтарының ұсыныстарын ескере отырып орындалуы керек.

5.4.6.4.4 Меридионалды бағытта орналастырылған қаттылық қабырғаларын қолдану кезінде, қабырғалардың көлденең қиылыстарын қаттылық қабырғаларының шеттеріндегі

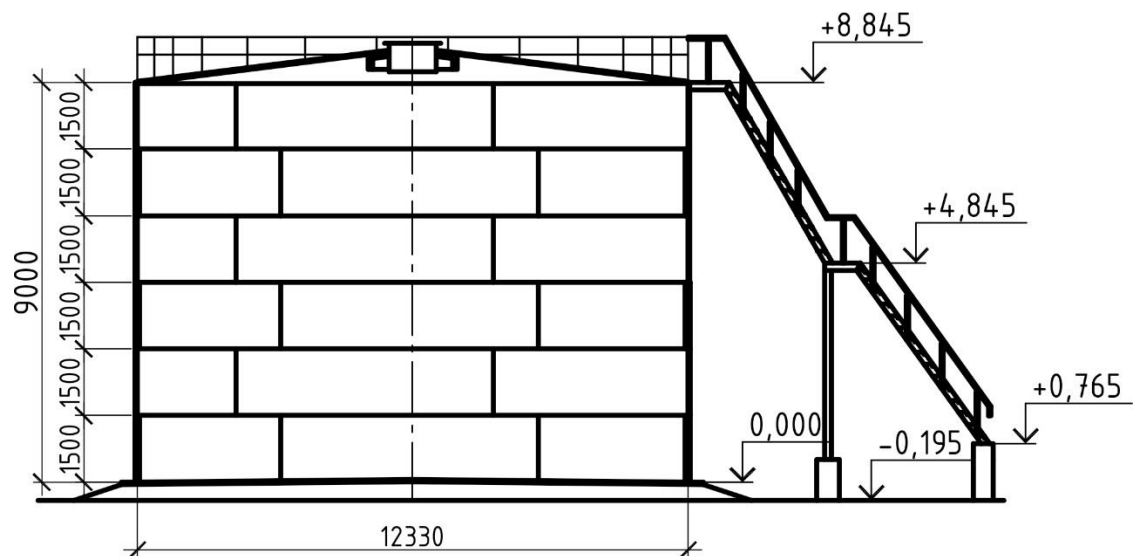
кернеулердің концентрациясынан қабықшаның тұрақтылығын мүмкін болатын жергілікті шығынын болдырмау үшін оларды соңына қарай азайту керек.

2 МЫСАЛ Резервуар қабырғасындағы қуыстар мен ойықтарды күшейту

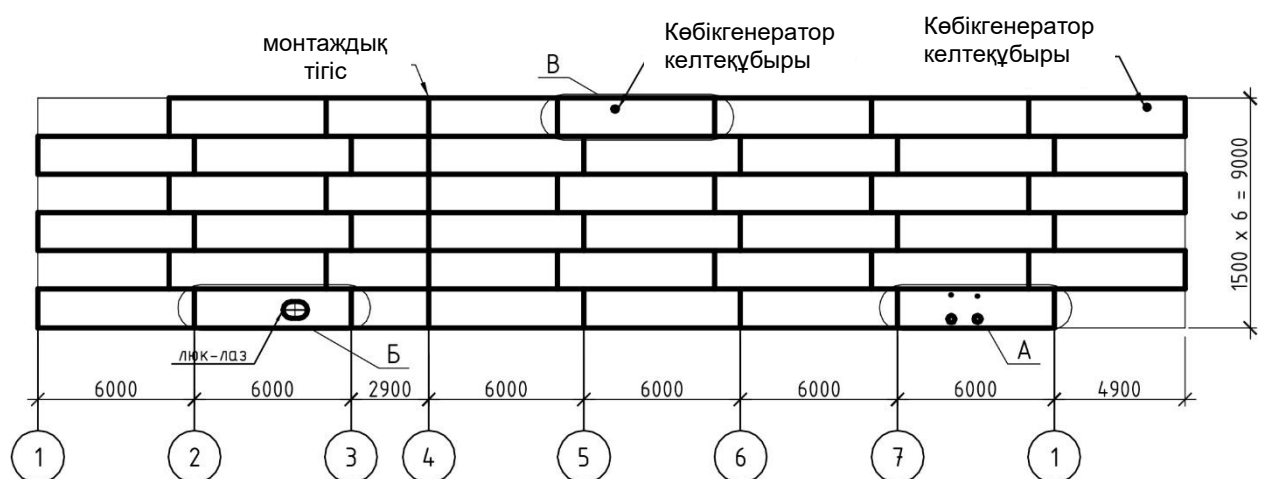
1 Бастапқы мәліметтер

Мысал ішінде номиналды ауқымы 1000 м^3 стационарлы шатыры бар тік цилиндр жер үсті болат резервуары. Резервуар кестесі –1 суретті қараңыз.

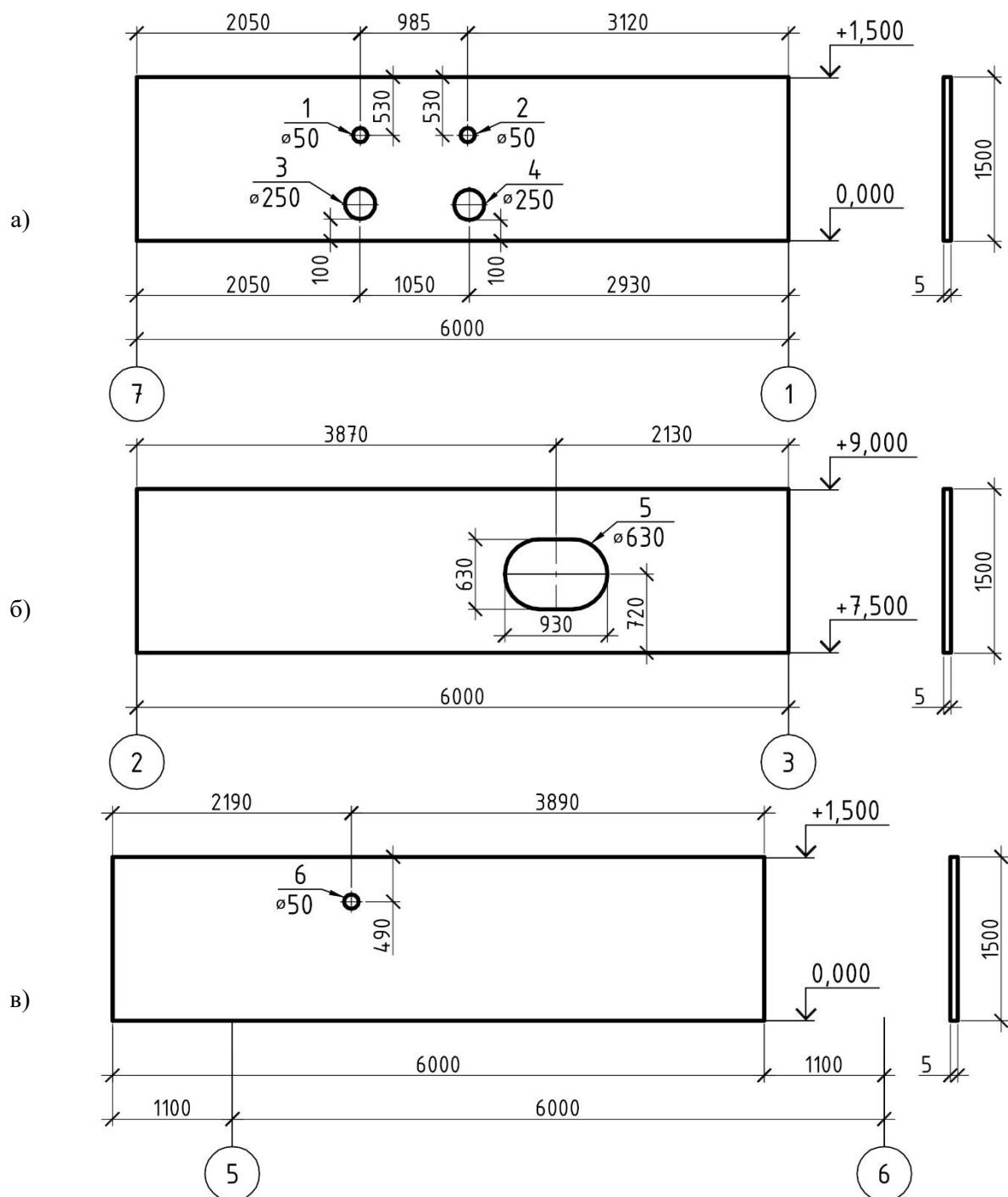
Бұл резервуар үшін ҚР ҚН EN 1993-4-2 5.4.6 тармағының нұсқауларына сәйкес резервуар қабырғасындағы қуыстардың күшею қажеттілігінің бағасын жүргіземіз. Қабырғаны жазу кестесі мен табақтардағы қуыстардың орналасуы 2, 3 суреттерінде келтірілген. Келте құбырлардың қалыңдығы $t_{\Pi} = 4 \text{ мм}$ тең етіп алынған. Люктің қалыңдығы $t_{\text{люка}} = 8 \text{ мм}$ тең.



1 Сурет – Резервуар схемасы



2 Сурет – Резервуар қабырғасының жаймасы



3 Сурет Резервуар қабырғасындағы саңылаудың орналасуы мен сандық белгіленуі

а) А түйіні (2 сурет); б) Б түйіні (2 сурет); в) В түйіні (2 сурет)

2. Резервуар қабырғасындағы саңылаудың(СП РК EN 1993-4-2) орналасуын жобалау мен қажеттілігін бағалау реті:

2.1 Саңылау мен ойықтың өлшемін бағалау(5.4.6.2 тармақты қараңыз).

2.2 Мықтылық шартын (осы құралдың 5.4.6.3 тармағы) ұстана отырып саңылауларды нығайту қажеттілігін тексеру.

2.2.2 Ағын көлемін (5.4.6.3.3...5.4.6.3.4) көтере отырып саңылауды кеңейту.

2.2.2.1 Келте құбыр(5.4.6.3.4 тармақты қараңыз) көмегімен қосымша “күшейту” мүмкіндігі.

2.2.2.2 Күшейткіш пластинаны орнату(5.4.6.3.4 б тармақты қарау)

2.2.2.3 Резервуар белбеуінің қалыңдығын өзгертуді бағалау қажеттілігі(5.4.6.3.4. пункт қарау).

2.2.3 Келте құбыр көмегімен саңылауды үлкейту(5.4.6.3.5...5.4.6.3.6.)

2.2.3.1 Қажетті күшейткіш ауданынан ΔA (5.4.6.3.3 пунктін қарау) керекті келте құбырдың $t_{кк}$ қалыңдығы мына түрден анықталады:

$$\Delta A = 2 \cdot t_{кк} \cdot (8t_{кк} + t_{ст})$$

Мұндағы ΔA - 5.1 формуласымен СП РК EN 1993-4-2 анықталған қажетті күшейткіш аудан.

$t_{кк}$ - қажетті келте құбырдың қалыңдығы.

2.2.3.2 Шартты тексеру:

а) Келте құбырдың екі қабырғасы шоқысы $1.17\sqrt{r_m t_{ref,n}}$ құрайды(5.4.6.3.5 пунктіне сәйкес);

б) Жернеу концентрациясының коэффициенті $f \leq 2,0$ (5.4.6.3.6 пунктіне сәйкес).

Егер екі шартта орындалса, онда есептеу аяқталған болып саналады. Егер ең аз дегенде бір шарт орындалмаса, онда $t_{кк}$ қажетті келте құбырдың қалыңдығын өзгерту керек. Жоғарыдағы екі шарттың орындалуын тексеру керек.

В 2.2 Тұрақтылық шарты негізінде саңылауды үлкейту қажеттілігін бағалау(8.4.6.3 пунктін қарау).

а) 5.3, 8.4 бөлімдерінің шартын тексеру(5.4.6.4.1...5.4.6.4.2 пунктін қарау).

а) 5.4.6.4.3 пунктін тексеру.

3 саңылау өлшемін тексеру(5.4.6.2 пункті)

№1 саңылау

$d_{n1} = 50 \text{ мм} < 80 \text{ мм}$ саңылауы үлкен емес өлшемдегі саңылау ретінде есептеледі. 5.1 кесте сәйкес күшейтудің қажеті жоқ, себебі $d_n = 50 \text{ мм}$ болғанда $t_{ст} = 5 \text{ мм} \leq t_{табл.5.1.} = 5 \text{ мм}$

№2 саңылау

$d_{n2} = 50 \text{ мм} < 80 \text{ мм}$ саңылауы үлкен емес өлшемдегі саңылау ретінде есептеледі. 8.1 кестеге сәйкес күшейтудің қажеті жоқ, себебі $d_n = 50 \text{ мм}$ болғанда $t_{ст} = 5 \text{ мм} \leq t_{табл.5.1.} = 5 \text{ мм}$.

№3 саңылау

$d_{n3} = 250 \text{ мм} > 80 \text{ мм}$ өлшемді саңылау үлкен өлшемді саңылау болып саналады және саңылауға күшейту 5.4.6.3 пунктіне сәйкес қажет.

№4 саңылау

$d_{n4} = 250 \text{ мм} > 80 \text{ мм}$ өлшемді саңылау үлкен өлшемді саңылау болып саналады және саңылауға күшейту 5.4.6.3 пунктіне сәйкес қажет.

№5 саңылау

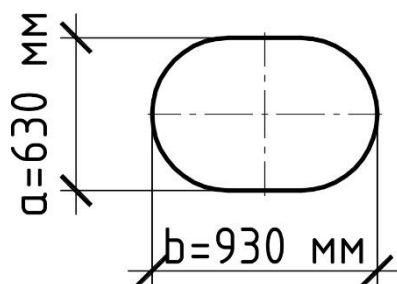
Саңылау тікбұрышты болғандықтан, баламалы диаметрдің мағынасын пайдаланамыз. (5.4 формула):

$$d_{0,n5} = \frac{a + b}{2} = \frac{630 + 930}{4} = 390 \text{ мм}$$

$d_{0,n5} = 390 \text{ мм} > 80 \text{ мм}$ саңылау көлемі үлкен саңылау болып саналады және де осы құралдың 8.4.6.3 Тармағына сәйкес саңылаудың көлемін ұзартып, саңылауды нығайту керек.

№6 саңылау.

$d_{n6} = 50 \text{ мм} < 80 \text{ мм}$ саңылау көлемі үлкен емес саңылау болып табылады. 5.1 Кестеге сәйкес нығайту талап етілмейді, өйткені $d_n = 50 \text{ мм}$ болғанда $t_{ст} = 5 \text{ мм} \leq t_{табл.5.1.} = 5 \text{ мм}$.



4 Сурет – Тікбұрышты сағылау көлемін бағалау

4 беріктік ету талабын орындау мақсатында сағылауларды нығайту қажеттілігін тексеру.

4.1 Кесу көлемін ұзарту арқылы сағылауларды нығайту (Осы құралдың 5.4.6.3.3...5.4.6.3.4 тармақтары.

4.1.1 Нығайтылудың қосымша көлемін анықтау

ΔA саңылауын нығайту үшін төменде келтірілген Формула бойынша (5.1) қажетті қосымша көлемді белгілейміз:

$$\Delta A = 0,75 \cdot d \cdot t_{\text{ref}}$$

Осы формулада d – кесілетін сағылаудың диаметрі;

t_{ref} – LS1. шекті пластикалық күйге сәйкес белгіленген саңылауы жоқ қабырғаның жобаламалы қалыңдығы.

№3 саңылауы

$$\Delta A_3 = 0,75 \cdot d_3 \cdot t_{\text{ref}} = 0,75 \cdot 25 \cdot 0,5 = 9,375 \text{ см}^2$$

№4 саңылауы

$$\Delta A_4 = 0,75 \cdot d_4 \cdot t_{\text{ref}} = 0,75 \cdot 25 \cdot 0,5 = 9,375 \text{ см}^2$$

№5 саңылауы

$$\Delta A_5 = 0,75 \cdot d_5 \cdot t_{\text{ref}} = 0,75 \cdot 39 \cdot 0,5 = 14,625 \text{ см}^2$$

4.1.2 келте құбырды енгізу арқылы мүмкін болып табылатын жанама “нығайтылуды” есепке алу (осы құралдың 5.4.6.3.4 тармағы).

Қабырғаның баламалы “нығайтылу” әсерін келте құбырды пайдалану арқылы есепке алу қабырғаның мөлшерін есептеу нысандарының бірі болып табылады.

Жанама «нығайтылу» нәтижесін осы құралдың 5.4.6.3.4 Тармағына сәйкес келте құбырдың тікелей өзімен есепке алу келте құбырға арналып жасалған саңылауға қабырғаны түсіру нұсқаларының бірі болып табылады. ΔA нығайту көлемін анықтау барысында қабықша бетінен келте құбырдың (люктің) төрт қалыңдығынан аспайтын аралықта орналасқан келте құбырдың бір бөлігі есепке алынады. Осындайда осы қарастырылатын учаскенің шеңберінде люктің немесе келте құбырдың қалыңдығы өзгермеуі тиіс. Есептеу шеңберінде $l = 4t_n + t_{\text{ref}} + 4t_n$ ұзындықтағы келте құбырдың көлденең кесу көлемін анықта лады (5 Суретті қараңыз). Егер де осындай $\Delta A'$ ұзындығында келті құбыр кесігінің көлемі 4.1.1 тармағы бойынша анықталған қажетті ΔA мағынасынан көбірек болса, жанама «нығайтылуының» нұсқасы орынды болып саналады.

№3 саңылау

$\Delta A'_3 \geq \Delta A_3$ шартын іс жүзінде тексеру

$$\Delta A'_3 = 2 \cdot (8 \cdot t_{n3} + t_{\text{ст}}) \cdot t_{n3} = 2 \cdot (8 \cdot 0,4 + 0,5) \cdot 0,4 = 2,96$$

$$2,96 \text{ см}^2 < 9,375 \text{ см}^2 \text{ көзделген шарт орындалмаған}$$

t_{n3} келте құбырдың қалыңдығын көбейтіп (Осы құралдың 5.4.6.3.5–5.4.6.3.6 тармақтарын қараңыз), немесе нығайтылатын қаптаманы орнату керек (осы құралдың 5.4.6.3.4 б тармағын қараңыз).

№4 саңылау $\Delta A'_4 \geq \Delta A_4$ шартын тексеру

$$\Delta A'_4 = 2 \cdot (8 \cdot t_{n4} + t_{\text{ст}}) \cdot t_{n4} = 2 \cdot (8 \cdot 0,4 + 0,5) \cdot 0,4 = 2,96 \text{ см}^2$$

$$2,96 \text{ см}^2 < 9,375 \text{ см}^2 \text{ көзделген шарт орындалмаған}$$

$t_{п4}$ келте құбырдың қалыңдығын көбейтіп (Осы құралдың 5.4.6.3.5–5.4.6.3.6 тармақтарын қараңыз) немесе нығайтылатын қаптаманы орнату керек (осы құралдың 5.4.6.3.4 б тармағын қараңыз).

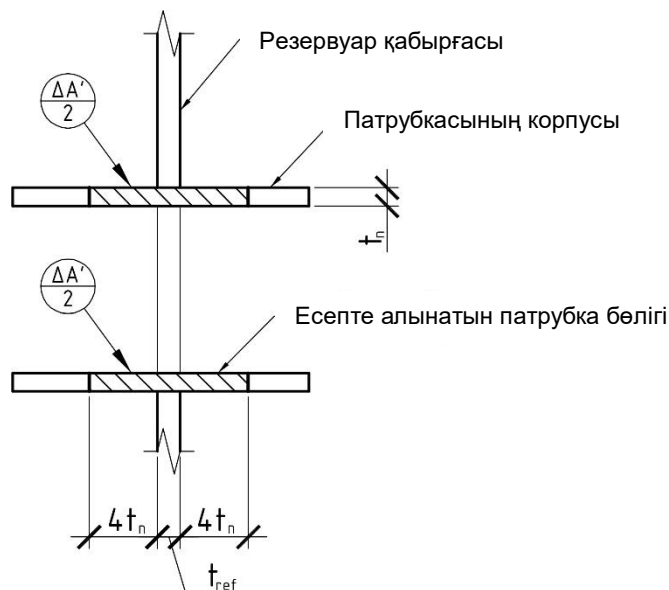
№5 саңылау

$\Delta A'_5 \geq \Delta A_5$ шартын іс жүзінде тексеру

$$\Delta A'_5 = 2 \cdot (8 \cdot t_{\text{люка}} + t_{\text{ст}}) \cdot t_{п5} = 2 \cdot (8 \cdot 0.8 + 0.5) \cdot 0.8 = 11,04 \text{ см}^2$$

$11,04 \text{ см}^2 < 14,625 \text{ см}^2$ көзделген шарт орындалмаған

L люгының қалыңдығын көбейту керек. (Осы құралдың 5.4.6.3.5–5.4.6.3.6 тармақтарын қараңыз немесе нығайтылатын қаптаманы орнатыңыз (осы құралдың 5.4.6.3.4 б Тармағын қараңыз).



5 Сурет – Қабырғаны келте құбыр арқылы жанама күйінде көбейтуін есептеу

4.1.3 Нығайтылған келте құбырды орнату (Осы құралдың 5.4.6.3.4 б тармағы).

5.4.6.3.4 б тармағына сәйкес сұйыққойманың қабырғасын нығайту үшін саңылау жасалған жерде $1,5d_{\text{отв}} < d_{\text{накл}} \leq 2d_{\text{отв}}$ диаметрлі нығайтылатын қаптама орнатылуы мүмкін. Нығайтылатын қаптама ретінде дөңгелек және тік бұрышты тілімшелерді пайдалануға болады. 4.1.2 Тармағымен ұқсас етіп саңылаудың білігі арқылы өтетін кесікте нығайтылатын қаптаманың көлемі анықталады (6 суретті қараңыз). $\Delta A'$ нығайтылған қаптамасының кесік көлемі 4.1.1 тармағы бойынша белгіленген қажетті ΔA мағынасынан көбірек болса, нығайтылудың осы нұсқасын пайдалануға болады.

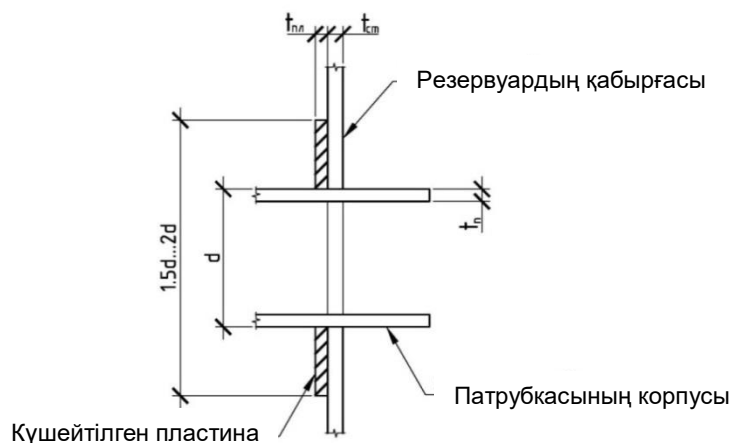
Нығайтылатын қаптаманы есептеу үшін оны төменде келтірілген Формула бойынша қажетті қалыңдығын анықтау керек:

– нығайтылатын қаптаманың сыртқы диаметрі $1,5d$ болған кезде:

$$t_{\text{накл}(1,5d)} = \frac{\Delta A}{1,5d - d}$$

– нығайтылатын қаптаманың сыртқы диаметрі $2d$ болған кезде:

$$t_{\text{накл}(2d)} = \frac{\Delta A}{2d - d}$$



6 Сурет – Нығайтылатын қаптаманы есептеу

№3 саңылау

$$t_{\text{накл}3(1,5d)} = \frac{\Delta A_3}{1,5d_3 - d_3} = \frac{9,375}{1,5 \cdot 25 - 25} = 0,75 \text{ см}$$

$$t_{\text{накл}3(2d)} = \frac{\Delta A_3}{2d_3 - d_3} = \frac{9,375}{2 \cdot 25 - 25} = 0,375 \text{ см}$$

Қаптама қалыңдығы нақты бір сұйыққойма үшін ақырғы рет құрылымдық және технологиялық шектеулер есепке алынып таңдалады.

Келтірілген мысалда қаптаманың сыртқы диаметрі $2d$ болған кезде $t_{\text{накл}3} = 0,4 \text{ см}$ түрінде алынады.

№4 саңылау

$$t_{\text{накл}4(1,5d)} = \frac{\Delta A_4}{1,5d_4 - d_4} = \frac{9,375}{1,5 \cdot 25 - 25} = 0,75 \text{ см}$$

$$t_{\text{накл}4(2d)} = \frac{\Delta A_4}{2d_4 - d_4} = \frac{9,375}{2 \cdot 25 - 25} = 0,375 \text{ см}$$

Саңылаудың сыртқы диаметрі $2d$ болған кезде $t_{\text{накл}4} = 0,4 \text{ см}$ теңдігін пайдаланамыз.

№5 саңылау

$$t_{\text{накл}5(1,5d)} = \frac{\Delta A_5}{1,5d_5 - d_5} = \frac{14,625}{1,5 \cdot 39 - 39} = 0,75 \text{ см}$$

$$t_{\text{накл}5(2d)} = \frac{\Delta A_5}{2d_5 - d_5} = \frac{14,625}{2 \cdot 39 - 39} = 0,375 \text{ см}$$

Қаптаманың сыртқы диаметрі $2d$ болған кезде $t_{\text{накл}5} = 0,4 \text{ см}$ теңдігін пайдаланамыз.

4.1.4 Сұйыққойма белдігінің қалыңдығын ұлғайту арқылы нығайтылу жұмыстары жүргізіледі. (Осы құралдың 5.4.6.3.4 тармағы).

Осындай әдісті пайдаланған кезде t_{ref} сұйыққойма белдігі қалыңдығының ең аз мағынасының орнына онан да қалыңырақ парақ қолданылады. Сұйыққойма

белдігінің жаңа (көбейтілген) қалыңдығы осы құралдың LS1 күйіне сәйкес салмақ түсетін мүмкіншіліктер саласындағы 5.4.6.3 Тармағының талаптарын сай болуы тиіс.

4.2 Келте құбырмен саңылауларды нығайту (Осы құралдың 5.4.6.3.5...5.4.6.3.6 тармақтары).

5.4.6.3.2 Тармаққа сәйкес қабырғаның саңылаумен босаңсытылған кесуі тек келте құбырмен

қана нығайтыла алады. Осындайда келте құбыр қабырғаның екі жағынан l_n мөлшерінде, алайда кем дегенде $1,17\sqrt{r_m t_{ref,n}}$ шығып тұруы тиіс. Осындай жағдайда келте құбырдан нығайтылатын әсерді тек келте құбыр тіреу шығыршығының құрылымынан кем дегенде 100 мм. аралықта болғанда ғана есепке алуға болады (7 сурет).

Келте құбырдың ықпалы жанама «нығайтылуға» ұқсас етіліп есепке алынады (осы құралдың 4.1.2 тармағы, алайда келте құбырдың қалыңдығы мөлшері өзгеріп тұратын шама болып табылады. Оны таңдаған кезде біз ΔA қосымша нығайтылуының талап етілетін көлемге сәйкес келетін талап етілетін $\Delta A'$ келте құбырының бойлы ексуінің талап етілетін көлемде болуын қамтамасыз етеміз).

Келте құбырының қажетті қалыңдығын төменде көрсетілген шартқа сәйкес тандайды (осы құралдың 2.2.3.1 және осы құралдың 7 суретін қараңыз).

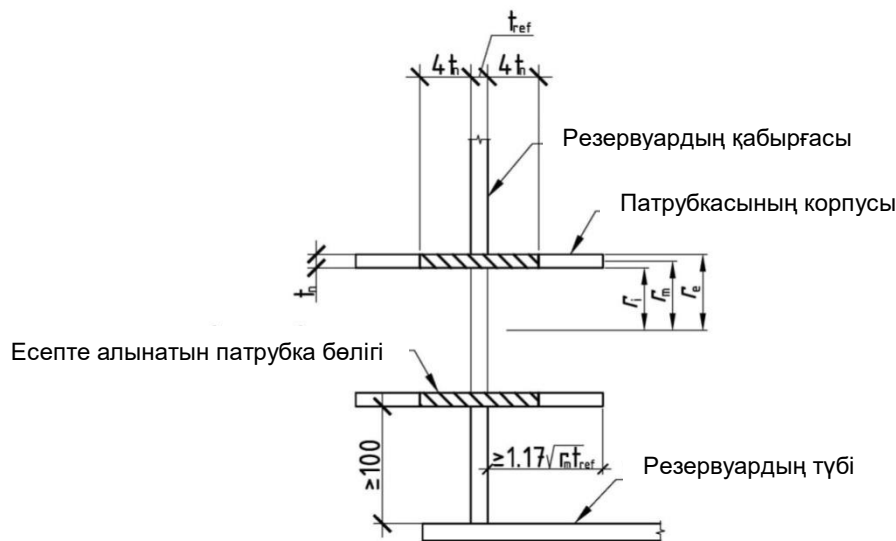
$$\Delta A = 2 \cdot t_n \cdot (8t_n + t_{ct})$$

осы мысалда ΔA – нығайтудың талап етілетін көлемі, ол (5.1) СП РК EN 1993-4-2 формула бойынша анықталады;

t_n – келте құбырдың талап етілетін қалыңдығы.

Осы мысалда келте құбыр арқылы нығайтуды есептеу №3...5 саңылаулар үшін нығайтатын келте құбырларға қосымша нұсқа ретінде келтірілген (4.1.3 тармағын қараңыз).

Сондай-ақ осы мысалда келте құбырдың ұзындығы (оның қалыңдығы қандай болса да) $1,17 \cdot \sqrt{r_{m3} \cdot t_{ref,n}}$ - дан неғұрлым көбірек деп есептелінеді (осы құралдың 5.4.6.3.5 тармағына сәйкес). Келте құбырдың бастапқы қалыңдығы – бастапқы мәліметтерді қараңыз.



7 Сурет – Келте құбыр арқылы саңылауларды нығайтуды есептеуге қосылып әзірленген сурет

№3, 4 саңылаулар

$\Delta A'_3 \geq \Delta A_3$ шартын тексеру

$$\Delta A'_3 = 2 \cdot (8 \cdot t_{n3} + t_{ct}) \cdot t_{n3} = 2 \cdot (8 \cdot 0,4 + 0,5) \cdot 0,4 = 2,96 \text{ см}^2$$

$$2,96 \text{ см}^2 < 9,375 \text{ см}^2$$

Төменде келтірілген келте құбырдың қажетті қалыңдығын белгілейміз.

$$\Delta A = 2 \cdot t_n \cdot (8t_n + t_{ct})$$

Осындайда $t_n = 0,735$ см; және де $t_n = 0,8$ см деп санаймыз.

$\Delta A'_3 \geq \Delta A_3$ шартын тексеру

$$\Delta A'_3 = 2 \cdot (8 \cdot t_{n3} + t_{ct}) \cdot t_{n3} = 2 \cdot (8 \cdot 0,8 + 0,5) \cdot 0,8 = 11,04 \text{ см}^2$$

$$11,04 \text{ см}^2 > 9,375 \text{ см}^2$$

(5.2) СП РК EN 1993-4-2 формуласы бойынша u ауыстыру коэффициентін анықтаймыз:

$$y_3 = 1,56 \cdot \frac{t_{n3}}{t} \cdot \sqrt{\frac{t_{n3}}{r_{m3}}} + \left(\frac{t_{n3}}{2 \cdot r_{m3}} \right) = 1,56 \cdot \frac{0,8}{0,5} \cdot \sqrt{\frac{0,8}{12,1}} + \left(\frac{0,8}{2 \cdot 12,1} \right) = 0,6749$$

Осындайда t – қабырғаның қалыңдығы, $t = 0,5$ см;

t_{n3} – келте құбыр корпусының қалыңдығы; $t_{n3} = 0,8$ см;

r_{m3} – келте құбырдың ортаңғы радиусы (келте құбырдың орталық бетінің радиусы); $r_{m3} = 12,1$ см.

5.1 СП РК EN 1993-4-2 суретке сәйкес f_3 кернеулер шоғырлануының коэффициентін белгілейміз; осындайда y_3 ауыстыру коэффициентін пайдаланамыз:

– келте құбырдың сыртқы радиусы $r_e = 12,5$ см;

– келте құбырдың ішкі радиусы $r_i = 12,5 - 0,8 = 11,7$ см;

– қатынас

$$r_e/r_i = 12,5/11,7 = 1,0684$$

$f_3 = 1,32 < 2,0$ шарт орындалады

$t_{n3} = 0,8$ см Келте құбыр корпусының қалыңдығын алайық:

№5 саңылау

$\Delta A'_5 \geq \Delta A_5$ шартын тексеру

$$\Delta A'_5 = 2 \cdot (8 \cdot t_{\text{люка}} + t_{\text{ст}}) \cdot t_{\text{люка}} = 2 \cdot (8 \cdot 0,8 + 0,5) \cdot 0,8 = 11,04 \text{ см}^2$$

$11,04 \text{ см}^2 < 14,625 \text{ см}^2$ шарт орындалмайды

Төменде келтірілген теңдікке сәйкес люктың қажетті қалыңдығын белгілейміз:

$$\Delta A = 2 \cdot t_{\text{люка}} \cdot (8t_{\text{люка}} + t_{\text{ст}})$$

Осындайда $t_{\text{люка}} = 0,925$ см теңдігі шығады. $t_{\text{п}} = 1,0$ см етіп санаймыз.

$\Delta A'_5 \geq \Delta A_5$ шартын тексереміз.

$$\Delta A'_5 = 2 \cdot (8 \cdot t_{\text{люка}} + t_{\text{ст}}) \cdot t_{\text{люка}} = 2 \cdot (8 \cdot 1,0 + 0,5) \cdot 1,0 = 17 \text{ см}^2$$

$17 \text{ см}^2 > 9,375 \text{ см}^2$ шарт орындалады.

5.2 СП РК EN 1993-4-2 Формуласы бойынша y ауыстыру коэффициентін белгілейміз:

$$y_3 = 1,56 \cdot \frac{t_{\text{люка}}}{t} \cdot \sqrt{\frac{t_{\text{люка}}}{r_{m5}}} + \left(\frac{t_{\text{люка}}}{2 \cdot r_{m5}} \right) = 1,56 \cdot \frac{1,0}{0,5} \cdot \sqrt{\frac{1,0}{31}} + \left(\frac{1,0}{2 \cdot 31} \right) = 0,5765$$

Осындайда t – қабырғаның қалыңдығы; $t = 0,5$ см;

$t_{\text{люка}}$ – люк корпусының қалыңдығы; $t_{\text{люка}} = 1,0$ см;

r_{m5} – люктың ортаңғы радиусы (люктың ортаңғы бетінің радиусы)

$$r_{m5} = \frac{63}{2} - 0,5 = 31 \text{ см}$$

5.1 СП РК EN 1993-4-2 суретке сәйкес y_3 ауыстыру коэффициентін пайдаланып f_3 кернеулер шоғырландырылуының коэффициентін анықтаймыз:

– люктың сыртқы радиусы $r_e = 63/2 = 31,5$ см;

– люктың ішкі радиусы $r_i = 31,5 - 1,0 = 30,5$ см;

– қатынас

$$r_e/r_i = 31,5/30,5 = 1,033$$

$f_3 = 1,38 < 2,0$ шарт орындалады

$t_{\text{люка}} = 1,0$ см люк корпусының қалыңдығының қабылдаймыз:

5 нығайту қажеттілігін тексеру

Тұрақтылық шартын басшылыққа алып саңылауларды нығайту қажеттілігін тексеру (Осы құралдың 5.4.6.4 тармағы).

Осы құралдың 5.4.6.4.1 тармағына сәйкес тұрақтылықта есептеу кезінде саңылаудың параметрі $\eta < \eta_{\text{max}} = 0.6$ болған жағдайда саңылаудың бар немесе жоқтығын есепке алмауға да болады.

η параметрі определяется 5.3 (СП РК EN 1993-4-2:2007) формуласы бойынша анықталады:

$$\eta = \frac{r_0}{\sqrt{rt}}$$

осындайда r – цилиндрлі қабықшаның радиусы, оны саңылаудың ортасы бойынша өлшейді (сұйыққойма белдігінің орталық бетінің радиусы);

t – сұйыққойманың саңылау орналасқан жердегі бекітілмеген қабырғасының қалыңдығы (атап айтқанда, қаттылық қабырғасымен);

r_0 – саңылаудың радиусы.

№1 саңылау

$$\eta_1 = \frac{r_{0,1}}{\sqrt{rt}} = \frac{5}{\sqrt{\left(\frac{1233}{2} + 0,3\right) \cdot 0,5}} = 0,285 < 0,6 \text{ шарт орындалады}$$

Отверстие №2

$$\eta_2 = \frac{r_{0,2}}{\sqrt{rt}} = \frac{5}{\sqrt{\left(\frac{1233}{2} + 0,3\right) \cdot 0,5}} = 0,285 < 0,6 \text{ шарт орындалады}$$

Отверстие №3

$$\eta_3 = \frac{r_{0,3}}{\sqrt{rt}} = \frac{25}{\sqrt{\left(\frac{1233}{2} + 0,3\right) \cdot 0,5}} = 1,424 > 0,6 \text{ шарт орындалмайды}$$

Отверстие №4

$$\eta_4 = \frac{r_{0,4}}{\sqrt{rt}} = \frac{25}{\sqrt{\left(\frac{1233}{2} + 0,3\right) \cdot 0,5}} = 1,424 > 0,6 \text{ шарт орындалмайды}$$

№5 саңылау

5.4 СП РК EN 1993-4-2 Формуласы бойынша есептелінетін r_0 баламалы радиустың мағынасы:

$$r_0 = \frac{a + b}{4} = \frac{630 + 930}{4} = 390 \text{ мм}$$

$$\eta_5 = \frac{r_{0,5}}{\sqrt{rt}} = \frac{39}{\sqrt{\left(\frac{1233}{2} + 0,3\right) \cdot 0,5}} = 2,221 < 0,6 \text{ шарт орындалмайды}$$

№6 саңылау

$$\eta_6 = \frac{r_{0,6}}{\sqrt{rt}} = \frac{5}{\sqrt{\left(\frac{1233}{2} + 0,3\right) \cdot 0,5}} = 0,285 < 0,6 \text{ шарт орындалмайды}$$

Сөйтіп, тұрақтылықты есептеу барысында №3...5 саңылауларды есепке алу керек блды.

5.4.7 Сұйыққойманың анкерлі бекітілуі

5.4.7.1 анкерлі бекітілудің құрылымды сүйеу болатын пішіннің (шығыршық тың) элементтеріне де, сонымен қатар цилиндрден әзірленген қабықшаның элементтеріне де бекітілген түрде болуы тиіс.

5.4.7.2 Температуралық және гидростатикалық әсерлердің өзгерісінен туындайтын қосымша әсерлерден қабықшаны қорғау үшін жобалау кезінде конструктивті шешім табу маңызды.

5.4.7.3 Резервуар қатты анкерлік бекітілгенде және резервуарға көлденең күш әсер еткенде (жел күші, кез-келген бір соққы әсері, мысалы, көліктен болған жағдайда) анкердегі күш қабықша теориясына сәйкес есептелуі керек.

ЕСКЕРТПЕ Бөрене теориясын пайдаланып алынған нәтиже жоғарыдағы тәжірибеде кей кезде жоғары болуы мүмкін. (5.4.7 пунктін қарау керек СП РК EN 1993-4-1).

5.4.7.4 Қосымша күшті ескере отырып цилиндрлік қабықшаны есептеу және жобалау 5.4.5 пунктiне сәйкес жүзеге асады.

5.5 Пайдалану жарамдылығының шекаралық күйі

5.5.1 Негізгі ережелер

5.5.1.1 Эксплуатациялық жарамдылық тұрғысынан қарай отырып цилиндрлік жұқа қабықты есептегенде мынаны ескеру (анықтау) керек:

- эксплуатациялық конструкцияға (технологиялық үрдістің жүзеге асуына келтіретін кедергі) кедергі келтіруді тудыратын деформация мен орын ауыстыру.

- салмық түсетін элементтерге зиян келтіретін деформациялар, орыс ауыстырулар және дірілдер.

5.5.1.2 Деформацияның, орыс ауыстырудың және дірілдің шекті мәні 5.5.1.1 пунктіндегі критерилерге сәйкес қабылданады.

5.5.1.3 Әр аймаққа қолданылатын нақты негізгі мән қолдану аймағын және сұйықты сақтайтын табиғатты есепке ала отырып жобалаушылардың, тапсырыс берушілердің және сәйкесінше бақылаушы органдардың арасында келісілуі керек.

6 КОНУС ПІШІНДІ ШҰҢҒЫМАЛАРДЫ ЖОСПАРЛАУ

6.1 Конус пішінді шұңғымаларды жоспарлау СП РК EN 1993-4-1 берілуі бойынша орындалады.

7 ДӨҢГЕЛЕК ҚАҚПАҚТАРДЫ ЖОСПАРЛАУ

7.1 Негізгі күйі

7.1.1 Негізгі ережелер

7.1.1.1 Болат резервуарлардың өлшемін СП РК EN 1993-4-2 2 бөлімдегі қалыпты күйдің негізгі талап ету есебі орындалғанда ғана жүзеге асатындай етіп орындау керек.

7.1.1.2 Сфералық және конус пішінді қабықшаның мықтылығы СП РК EN 1993-1-6 талабы бойынша орындалу керек.

7.1.1.3 Қақпақтың конструкциясы мықтылығын бағалау СП РК EN 1993-1-1 талабын қолдана отырып орындалу керек.

7.1.2 Қақпақты жобалау

7.1.2.1 Тұтас қақпақ және оның жеке элементтері мынадай талаптарды қанағаттандыру керек:

- майыстырған кезде қақпақ және оның элементтері сынбауы үшін мықтылық және қаттылық керек;

- арнайы бөліктер мен біріктірілген жерлер мықты және қатты болу керек;

- ішкі қысымға шыдау үшін мықты болу керек.

7.1.2.2 Қақпақ тақтасы балама қадамды 7.3÷7.5 бөлімін ескермегенде СП РК EN 1993-1-6 талабын қанағаттандыру керек.

7.2 Қақпақтың құрылымды шешімі

7.2.1 Қақпақ сфералық, конус тәрізді, торосфералық және тороконустық пішінді болуы мүмкін. Ішкі қысым сұйық деңгейінен жоғары болғанда негізі торосфералық және тороконустық форма таңдалу керек.

7.2.2 (1) пунктінде келтірілген қақпақтардың әр түрі өзінше тірексіз конструкцияны 7.1.1 (2) пункт немесе каркас түріндегі конструкцияны 7.1.1 (3) пункт көрсетуі керек.

7.2.3 Каркасты қақпақтың конструкциясына (7.2.2 пунктін қарау керек) тірек конструкция ретінде бөренелер қолданылады.

7.2.4 Шатырдың қаңқалы көтеруші құрылымы шатырдың қоршаушы элементтерінен төмен (резервуардың ішінде), сонмен қатар шатырдың қоршаушы элементтерінен жоғары (резервуардың сыртында) орналасуы мүмкін.

7.2.5 Көтеруші құрылымдардың шатырды қоршаушы (көтермейтін) элементтері бекіту типі бойынша:

- а) еркін жатыстағы, яғни шатырдың көтеруші құрылымдарына арлық бекітулерден;

- б) шатырдың көтеруші құрылымдарына аралық бекітетін болуы мүмкін.

10.2.6 Жеңіл түсірілетін шатыр құрылғысы қажет болған жағдайда осы құралдың 5а-тармағында сипатталған шатырдың типін пайдалану қажет.

10.2.7 Шатырдың қаңқалы көтеруші құрылымы шатырдың қоршаушы элементтерінен төмен (резервуардың ішінде) төмен орналасатын болса, онда осы құралдың 5б-тармағында сипатталған шатырдың типін пайдалану қажет.

7.3 Дөңгелек шатырға қойылатын талап

7.3.1 Осы құралдың 10.4-тармағында берілген арнайы талап кезінде шатырдың қаптамасы ҚР ҚН EN 1993-1-6 талаптарын қанағаттандыруы тиіс.

7.3.2 Шатырдың қаңқалы көтеруші құрылымы ҚР ҚН EN 1993-1-1 талаптарын қанағаттандыруы тиіс.

7.3.3 Торосфериялық және тороконустық шатырлар ішкі қысымнан шектердің қиылысу аймағын бүгудің алдын алатындай жобалануы тиіс.

7.4 Шатырдың әртүрлі түрлерін жобалаудың ерекшелігі

7.4.1 Шатырдың тірексіз құрылымдары

7.4.1.1 Тірексіз шатырлар қыспақта дәнекерленуі немесе екі тігіспен бірлескен құрылымнан тұруы тиіс.

7.4.1.2 Бірігіп қосылған жағдайда есептік моделдерден түйісетін элементтердің бліктес болмауына байланысты иілу түсілісі мен пластикалық бұзылудың қарсылығын кемітуді ескерту қажет.

7.4.2 Конустық немесе купол тәрізді қаңқалы шатырлар

7.4.2.1 Қоршаушы (қаптаушы) құрылымдар

7.4.2.1.1 Шатырдың қаптамасы ірі деформациялар теориясын пайдалана отырып жобалануы мүмкін.

7.4.2.1.2 Жеңіл түсірілетін шатыр құрылғысы қажет болған жағдайда қаптама элементтер шатырдың ішкі көтеруші құрылымына бекітілуі тиіс.

7.4.2.2 Қаңқалы көтеруші құрылымды жобалау

7.4.2.2.1 Шатырдың қаңқалы көтеруші құрылымы ҚР ҚН EN 1993-1-1 талаптарын қанағаттандыруы тиіс.

7.4.2.2.2 Егерде шатырдың қоршаушы құрылымдары (қаптамасы) көтеруші құрылымдарға бекітілген болса, онда есептеу кезінде $16t$ тең тиімді енді қаптаманың бөлігі ескертілуі тиіс. Тиімді енінің ірі мағынасы қосымша есептер негізінде қабылдануы тиіс.

7.4.2.2.3 Бағандар ұстап тұратын шатыр үшін іргетастың отыру мүмкіндігін арнайы қарастырған дұрыс.

7.4.3 Қабырға-шатыр торабы (карнизды торап)

7.4.3.1 Шатырдың және цилиндрлік қабырғаның (карнизді тораптың) қосылысы шатырдан жалпы тік жүктеменің (құрылымның салмағы, қар, уақытша жүктеме және вакуум) қабылдануын қамтамасыз ететіндей жоспарлануы тиіс.

7.4.3.2 Шатырды және цилиндрді қосылысы ҚР ҚН EN 1993-1-6 талаптарын қанағаттандыруы тиіс. Егерде осы құралдың 11.2.5-тармағында берілген талаптар орындалатын болса, онда осы құралдың тармағында берілген жобалаудың оңтайландырылған әдісі қолданылуы мүмкін.

7.4.3.3 Жеңіл түсірілетін шатыр үшін А ішкі қысым әсер ететін ауданды келесі талаптар қанағаттандыруы тиіс:

$$A \leq \frac{W}{2\pi \cdot \tan(\alpha f)} \quad (7.1)$$

мұндағы W – қаңқаның және шатырдың басқа да құрылымдық элементтерінің (бірақ қаптаманың емес) жалпы салмағы, ол резервуардың қабырғасы мен шатырымен қабылданады;

α – шатыр және цилиндрдің қосылысқан жеріндегі шатыр мен көлденең жазықтық арасындағы бұрыш.

7.5 Пайдаланушылық жарамдылық жөніндегі шекті жағдай

7.5.1 Пайдаланушылық жарамдылық көзқарасы тұрғысынан резервуардың шатырын есептеген кезде келесілермен анықталатын шекті жағдайды қарастыру (анықтау) қажет:

- құрылымның қалыпты пайдаланылуының күрделенуіне алып келетін деформация және ауыстырулармен (технологиялық процесті жүзеге асырудың қиындығы);

- көтеруші элементтердің зақымдалуына алып келуі мүмкін деформациялармен, ауыстырулар немесе тербелістермен.

7.5.2 Деформациялардың, ауыстырулардың немесе тербелістердің рұқсат берілетін мағынасы осы құралдың 7.5.1-тармағында көрсетілген өлшемдері сақталатындай қабылдануы тиіс.

7.5.3 Қолданудың әрбір саласы үшін нақты шекті мағыналар қолдану саласын және сақталатын сұйықтықтар табиғатын есепке ала отырып жобалаушымен, тапсырыс берушімен және тиісті қадағалау органы арасында келісілуі тиіс.

**8 «ТҮП-ҚАБЫРҒА» ҚИЫЛЫСУ ТОРАПТАРЫ (КЕРТІКТІ ТОРАП) ЖӘНЕ
ТІРЕК САҚИНАЛЫ АРҚАЛЫҚТЫҢ ТОРАПТАРЫН ЖОБАЛАУ**

8.1 Кертiктi торап пен тiрек сақиналы арқалықтарды жобалау ҚР ҚН EN 1993-4-1 нұсқаулықтарына сәйкес орындалуы тиіс.

9 ТІК БҰРЫШТЫ ЖӘНЕ ТЕГІС РЕЗЕРВУАРЛАРДЫ ЖОБАЛАУ

9.1 Негізгі ереже

9.1.1 Тік бұрышты резервуар өзімен негізінен иілуге жұмыс істейтін қатты қорапты құрылымнан немесе бастапқы жеткілікті ірі деформациялардан өткен соң мембрана тәрізді жұмысқа қосылатын жіңішке мембраналық құрылымнан тұрады.

9.1.2 Иілуші элементтер тәрізді резервуар құрылымын жобалаған кезде, тораптардың құрылымдық шешімдері есептік моделде қабылданған алғышарттардың нақты құрылымының жұмысына сәйкестікті қамтамасыз ететіндей етіп қабылдануы тиіс.

9.2 Резервуарлар түрлері

9.2.1 Қатты емес резервуарлар

9.2.1.1 Беріктік қабырғасымен бекітілмеген тегіс болат табақтардан тұратын резервуардың құрылымы «қатты емес резервуар» тәрізді қарастырылуы тиіс.

9.2.1.2 Егерде беріктік қабырғалары бір жазықтықта жатпайтын жекелеген плиталардың қосылысы тораптарының бойында ғана орнатылған болса, онда мұндай құрылым «қатты емес» резервуар тәрізді қарастырылуы тиіс.

9.2.2 Қатты резервуарлар

9.2.2.1 Беріктік қабырғасымен бекітілген тегіс болат табақтардан тұратын резервуардың құрылымы «қатты резервуар» тәрізді қарастырылуы тиіс. Беріктік қабырғалары дөңгелек немесе меридианальды бағытта, сондай-ақ өзара перпендикулярлы бағытта орналасуы мүмкін.

9.2.3 Ілмелі резервуарлар (tanks with ties)

9.2.3.1 Ілмелі резервуарлар жоспарда шаршы немесе тік бұрышты нысаннан тұруы мүмкін.

ЕСКЕРТПЕ Аталған жағдайда тірек құрылымдары созылуға жұмыс жасайтын резервуарлар алынған. Мұндай құрылымға ілмектер қарапайым мысал бола алады. Бұл жағдайда резервуар дискреттік тірекке (жеке орналасқан) тіреле отырып ілмелі ретінде қарастырылады.

9.3 Тік қабырғалардың беріктігі

9.3.1 Жекелеген қатты емес плиталарды жобалау

9.3.2.1 Қатты емес, яғни бекітілмеген беріктік қабырға, есептеу және жобалау кезіндегі плиталарды сұйықтықпен сақталатын әсерден және сұйықтық деңгейі үстіндегі артық қысыммен жұмыс жасайтын пластина (яғни үшіншісінен екі мөлшер көп құрылымдар) ретінде қарастыру қажет.

ЕСКЕРТПЕ Бұл жағдайда мұндай құрылымдарда мембраналық кернеулер (сәтсіз теория бойынша анықталатын) және құбыржол немесе басқа да жабдықтардың түйісу орындарынсыз жергілікті иілуші сәт туындайтыны қабылданатыны.

9.3.2 Жекелеген қатты плиталарды жобалау

9.3.2.1 Кеңірдектері көлденең орналасқан кеңірдектелген табақтар резервуар координатасының жалпы жүйесінде сақталатын сұйықтықтың әсерінен жалпы иілуге және сұйықтық деңгейі үстіндегі артық қысымға есептелуі тиіс. Осы құралдың 9.3.1-тармағына ұқсас, бұл жағдайда мұндай құрылымдарда мембраналық кернеулер (сәтсіз теория бойынша анықталатын) және құбыржолдар мен басқа да жабдықтар түйісетін жерлерде жергілікті иілуші сәттер қабылданады.

9.3.2.2 Тиімді (берілген) геометриялық сипаттамалар мұндай құрылымдар иілген кезде және иілушілік беріктікті ҚР ҚН EN 1993-1-3 нұсқаулықтарына сәйкес анықтау қажет.

9.3.2.3 Егерде түйісу орындарында барлық қаптау элементтері бірі-бірімен байланысатын болса, онда қозғалыс кезіндегі құрылымның сипаттамасы және оның қозғалысқа қарсылығы да ҚР ҚН EN 1993-1-3 нұсқаулықтарына сәйкес анықталуы тиіс.

ЕСКЕРТПЕ Көрші элементтердің қосылысы бір-бірімен тек тік түйісулері бойынша ғана орындалған жағдайда болуы мүмкін. Бұл жағдайда аталған қабырға бірыңғай құрылым ретінде қарастырылуы мүмкін емес және берілген ұсыныстарға сәйкес есептелуі мүмкін емес, өйткені құрылымның беріктігі маңызды төмендейді және құрылымда туындайтын кернеу артады. Алайда, мұндай құрылым су өткізбейтін болғандықтан, онда ол резервуарларда қолданылмайды деп есептеледі.

9.3.3 Сақталатын сұйықтық пен артық қысымның тікелей әсерінен жалпы иілуді есепке алу

9.3.3.1 Қабырғаға әсер ететін қалыпты қысымның нәтижесінде көлденең жазықтықтағы иілу ескерілуі тиіс. Бұл жағдайда жүктемелер бір немесе екі бағытта құрылымның иілуімен қабылдануы тиіс.

9.3.4 Көлденең жүктемедегі мембраналық кернеу

9.3.4.1 Жобалаған кезде мембраналық созылушы кернеулерді ескерген дұрыс, олар қабырғаға қалыптылық бойынша әсер ететін гидростатикалық қысымның нәтижесінде қабырғаларда дамиды.

9.3.4.2 Сонымен қатар қарастырылатын қабырғаға қатысты ортогональды жел жүктемесінің нәтижесі әсерінен дамуы мүмкін мембраналық сығылушы кернеуді назарға алған дұрыс.

9.3.5 Жабдық немесе құбырдың жергілікті иілушілік әсері

9.3.5.1 Барынша мүмкін болатындай жабдық немесе құбырдың әсерінен болатын жергілікті иілуші әсер етуден қашу керек. Алайда, егерде ол мүмкін болмаса, түйісу орындарындағы жергілікті кернеу мен деформацияны тексеру қажет.

9.4 Пайдаланушылық жарамдылық бойынша шекті жағдай

9.4.1 Тік бұрышты болат резервуарларды пайдаланушылық жарамдылық көзқарасы тұрғысынан есептеген кезде келесілермен анықталатын шекті жағдайды қарастыру (анықтау) қажет:

- құрылымның қалыпты пайдалануының күрделілігін тудыратын деформациялар мен ауысулар (технологиялық процестерді жүзеге асырудағы қиындықтар);
- көтеруші элементтердің зақымдалуына алып келуі мүмкін деформациялармен, ауыстырулар немесе тербелістермен.

9.4.2 Деформацияның, ауыстырулар немесе тербелістердің рұқсат берілетін мағыналары осы құралдың 9.4.1-тармағында берілген өлшемдер сақталатындай қабылданады.

9.4.3 Қолданудың әрбір саласы үшін нақты шекті мағыналар қолдану саласын және сақталатын сұйықтықтар табиғатын есепке ала отырып жобалаушымен, тапсырыс берушімен және тиісті қадағалау органы арасында келісілуі тиіс.

**10 ЖОБАЛАУ КЕЗІНДЕГІ ДАЙЫНДАУ ЖӘНЕ МОНТАЖДАУ
ТАЛАПТАРЫН ЕСЕПКЕ АЛУ**

10.1 Резервуар EN 14015 немесе EN 14620 сәйкес дайындалуы және көтерілуі және нақты жағдайларға байланысты EN 1090 сәйкес пайдалануға қабылдануы тиіс.

11 ЖОБАЛАУҒА ОҢТАЙЛАНДЫРЫЛҒАН ТӘСІЛ

11.1 Жалпы ереже

11.1.1 Осы бөлімде берілген резервуарды есептеудің оңтайландырылған тәсілі барлық төменде берілген талаптар қанағаттандырылған жағдайда ғана пайдаланылуы мүмкін:

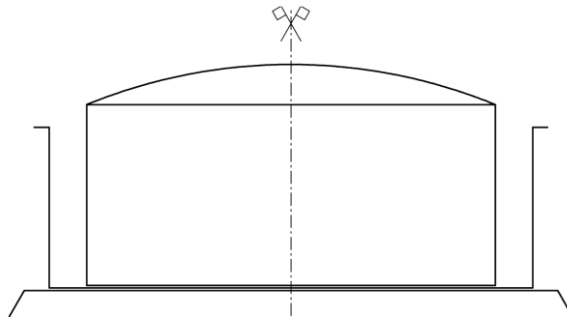
- 11.1-суретінде берілгенге сәйкес резервуардың құрылымдық шешімі;
- жалғыз ішкі әсер сұйықтық бетінен жоғарыдағы сұйықтық қысымы және газдың қысымы болып табылады;
- сақталатын сұйықтықтың ең жоғары жобалық деңгейі (күю деңгейі) цилиндрлік қабықтың үстіңгі деңгейінен аспайды;
- оның шағын әсер ету салдарын есептеген кезде келесі жүктемелерді елемеуге болады: температуралық және сейсмикалық әсер етулер, тегіс емес тұну немесе бекітулерден туындаған сейсмикалық әсерлер, апатты жүктемелер;
- қабырғаның жекелеген белдеулерінің биіктігі бойынша қалыңдығы тірек сақинаның жоғарғы аймағын қоспағанда ұлғаймайды;
- резервуар қабырғасындағы дөңгелек кернеудің жобалық деңгейі 435 Н/мм^2 аспайды;
- сфералық қақпақ үшін майысу радиусы резервуардың 0,8 бастап 1,5 дейінгі диаметрі шегінде;
- резервуардың қабырғасына ғана тірелетін өзін-өзі көтеретін конустық шатыр үшін (қосымша аралық көтеруші құрылымдарды қолданбастан) шатырдың еңістік мағынасы $1/5$ бастап $1/3$ дейінгі шекте болады;
- резервуардың түбі еңістігінің жобалық мағынасы $1:100$ аспайды;
- резервуардың түбі тұтас негізде жатады және жақын орналасқан параллельді тіректерге (арқалықтарға) сүйенеді;
- ішкі қысымның сипаттамалық мағынасы $8,5$ мбар төмен емес және 60 мбар жоғары емес;
- жүктеу-жүк түсіру циклдарының жобалық саны босаңқылық бұзылуын тудырмайды.

11.1.2 Осы бөлімде қолданылатын болаттың аққыштық шегінің жобалық мағынасы мына формула бойынша анықталады:

$$f_{y,d} = f_y / \gamma_{M0} \quad (11.1)$$

мұндағы f_y – болаттың аққыштық шегінің сипаттамалық мағынасы;

γ_{M0} – 2.9.2.2 ҚР ҚН EN 1993-4-2-тармағына сәйкес қабылданады.



11.1 Сурет – Жобалаудың оңтайландырылған тәсілін қолданған жағдайда қорғаныс қабырғасы бар (catch basin) резервуар құрылымы

11.2 Стационарлы қақпақтың құрылымы

11.2.1 Түйісетін немесе осылатын дәнекерлеу жіктерімен бекітілмеген қаптама (екі жағынан)

11.2.1.1 Егерде 14.2.1.3 және 14.2.1.5-тармақтарында барынша жоғары жүктеме қолданылатын болса, онда осы жүктеменің тегіс таралмауын ескермеуге болады.

11.2.1.2 Шоғырландырылған жүктеме болған кезде есепті осы құралдың 9-бөліміндегі нұсқаулықтарға сәйкес орындау қажет.

11.2.1.3 Ішкі қысымның әсерінен шатырдың беріктігі $p_{0,Ed}$ келесі жағдайларды орындаған кезде қамтамасыз етілген деп есептеледі.

- сфералық қақпақтар үшін:
$$\frac{p_{0,Ed} \cdot R_s}{2 \cdot t} \leq j \cdot f_{y,d} \quad (11.2)$$

- конустық қақпақтар үшін:
$$\frac{p_{0,Ed} \cdot R_c}{t} \leq j \cdot f_{y,d}, \quad \text{где } R_c = r / \sin \alpha \quad (11.3)$$

мұндағы j – бұл қосылыстың сенімділік коэффициенті;

$p_{0,Ed}$ – бұл қақпаққа жобалық жүктеменің біртекті таралуы сыртқы бағытталған құрауышы (осы құралдың 2.9.2.1-тармағына сәйкес сенімділіктің жеке коэффициентіне қосылған сипаттамалық мағына);

r – бұл цилиндрлік резервуар қабырғасының радиусы;

R_c – бұл конустық қақпақ қисығының радиусы;

R_s – бұл сфералық шатыр қисығының радиусы;

t – бұл шатыр қалыңдығы;

α – конустық шатырдың көкжиекке еңкею бұрышы.

11.2.1.4 Қосылыстың сенімділік коэффициенті мынаған тең қабылданады:

$j = 1,00$ – түйісетін дәнекерлеу тігістері үшін;

$j = 1,00$ – екі жағынан бұрыштық дәнекерлеу жігі үшін сырттай қосылыстар үшін.

11.2.1.5 Жобалық қысымның әсерінен шатырдың сфералық беріктігі $p_{0,Ed}$ келесі талаптарды орындаған кезде қамтамасыз етілген деп есептеледі.

$$p_{i,Ed} \leq 0,05 \left\{ 1,21E \left(\frac{t}{R_0} \right)^2 \right\} \quad (11.4)$$

мұндағы $R_0 = R_s$;

$p_{i,Ed}$ – бұл қақпаққа жобалық жүктеменің біртекті таралуы ішкі радиальды бағытталған құрауышы (осы құралдың 2.9.2.1-тармағына сәйкес сенімділіктің жеке коэффициентіне қосылған сипаттамалық мағына).

11.2.1.6 Жобалық сыртқы қысымның әсерінен шатырдың сфералық беріктігі $p_{i,Ed}$ 7.3 ҚР ҚН EN 1993-4-1-тарауының нұсқаулықтарына сәйкес тексеру қажет:

а) диаметрі 5 м кем емес конустық қабырға үшін және қақпақтың 40° кем емес φ горизонталға қақпақтың еңістігі үшін Формулалар (11.а) –(11.в) қолданылуы мүмкін.

- изотропты конустық қақпақ үшін $p_{n,Rcr}$ тұрақтылығын жоғалтудың сыртқы сындарлы қысымын мына формула бойынша анықтаған дұрыс:

$$p_{n,Rcr} = 2,65E \left(\frac{t \cos \phi}{r} \right)^{2,43} (\tan \phi)^{1,6} \quad (11.a)$$

мұндағы r - қақпақтың сыртқы радиусы;

t - қаптама табағының ең кіші қалыңдығы;

ϕ - көлденең жазықтыққа конустың еңістігі.

$$p_{n,Rd} = \frac{\alpha_p p_{n,Rcr}}{\gamma_{M1}} \quad (11.6)$$

мұндағы $\gamma_{M1} = 1,1$ — тұрақтылықты жоғалтудың шекті жағдайы бойынша жеке қауіпсіздік коэффициенті.

$$\alpha_p = 0,20.$$

б) 7.1 ҚР ҚН EN 1993-4-1-тармақшасында анықталған әсер етулер нәтижесінде туындаған қақпаққа ең жоғары сыртқы қысым келесі талаппен қанағаттандырылуы тиіс:

$$p_{n,Ed} \leq p_{n,Rd} \quad (11.b)$$

в) қалған конустық шатырдың тұрақтылығын тексеру ҚР ҚН EN 1993-1-6-талаптарына сәйкес орындалуы тиіс.

11.2.2 Қаңқалы көтеруші құрылымы бар шатыр

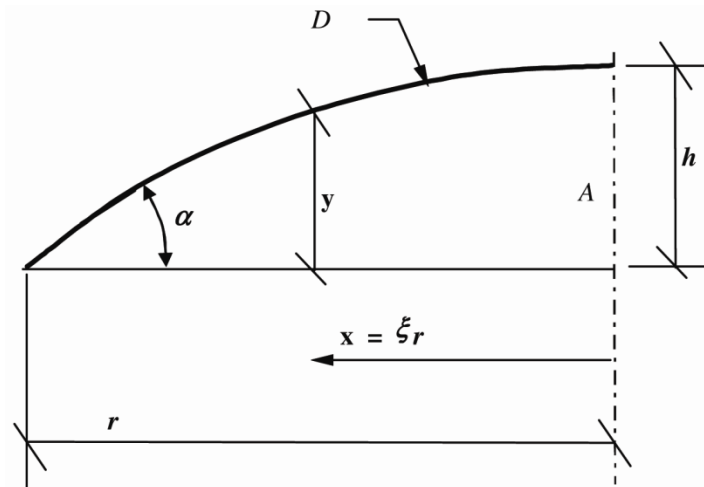
11.2.2.1 Шатырдың барлық элементтерінің қалыңдығы тоттанбайтын болат үшін 3 мм кем емес және басқа болат үшін 5 мм кем емес.

11.2.2.2 Қаңқалы көтеруші құрылым байланысатын жүйеден (осы құралдың 11.2.4-тармағын қараңыз) немесе оның беріктігі шатыр қаптамасымен (пластиналарымен) бірлескен жұмыспен қамтамасыз етілуі тиіс.

11.2.2.3 Шатыр элементтері ірі деформациялар теориясын пайдалана отырып есептелуі мүмкін.

11.2.2.4 Қаңқалы көтеруші құрылымдарды жобалауды ҚР ҚН EN 1993-1-1 нұсқаулықтарына сәйкес орындау қажет.

11.2.2.5 Резервуардың 60 м диаметрі кезінде және резервуардың жүктемесі осіне қатысты симметриялы (немесе симметриялылықтан елеусіз ауытқуы) сфералық шатырды есептеу осы құралдың 11.2.2.6÷11.2.2.10-тармағы нұсқаулықтарына сәйкес жүргізілуі мүмкін.



D – шатырдың профилі; A – резервуардың осі

11.2 Сурет – Резервуардың сфералық шатырының координаталары

11.2.2.6 Таратылған жүктемелер (уақытша, қардың, желдің, тұрақты жүктемелер мен ішкі немесе сыртқы қысымның) әсерінен сфералық шатырға түсетін ең жоғары көлденең жүктеме жоғарыға немесе төменге бағытталған $p_{v,Ed}$ жобалық мағынасына тең қабылданады. Егерде $p_{v,Ed}$ жоғары бағытталған болса, онда ол теріс белгімен алынады. Арқалыққа (сатыға) түсетін шатырдың тік жүктемесінің жалпы жобалық мағынасы мына формула бойынша анықталады:

$$P_{Ed} = \beta r^2 p_{v,Ed} \quad (11.5)$$

мұндағы $\beta = \pi/n$;

n – бұл арқалықтың саны;

r – бұл резервуардың радиусы;

$p_{v,Ed}$ – қолдаушы құрылымның өзіндік салмағын қоса жобалық жүктеменің тік таратылған (А-қосымшасын қараңыз) ең жоғары мағынасы (төмен – оң бағыт);

P_{Ed} – бұл арқалыққа түсетін жалпы жобалық тік жүктеме.

11.2.2.7 ҚР ҚН EN 1993-1-1 сәйкес шатыр арқалығында пайда болатын қалыпты күштің N_{Ed} және иілуші сәттің M_{Ed} жобалық мағынасы (11.6) және (11.7) формулаларымен анықталуы тиіс:

$$N_{Ed} = 0,375 \frac{r}{h} P_{Ed} \quad (11.6)$$

$$M_{Ed} = \frac{1}{3} \left(\frac{r}{1-\varepsilon} \right) \left\{ 1 - \left(\frac{x}{r} \right)^3 - 1,10 \left(\frac{y}{h} \right) \right\} P_{Ed} \quad (11.7)$$

Аталған формулалар келесі талаптар кезінде пайдаланылуы мүмкін:

$$p_{v,Ed} \geq 1,2 \text{ кН/м}^2 \quad (11.8)$$

$$I_y \geq \frac{N_d r^2}{\pi^2 E} \quad (11.9)$$

$$b_K \geq 2h_K \quad (11.10)$$

$$A_1 \geq A_2 \quad (11.11)$$

$$h_K^2 \left(\frac{A_1 A_2}{A_1 + A_2} \right) \geq \frac{I_y}{2\beta} \quad (11.12)$$

мұндағы

$$\varepsilon = N_{Ed} \frac{(0,6r)^2}{\pi^2 E I_y} \quad (11.13)$$

мұндағы h – резервуар шатыры көтерілімінің тілі, (осы құралдың 11.2-суретін қараңыз);

x – резервуардың остік желісінің радиалды қашықтығы (осы құралдың 11.2-суретін қараңыз);

y – x координатасының функциясы болып табылатын шатырдың тік координатасы, (осы құралдың 11.2-суретін қараңыз);

b_K – орталық сақина сөресінің ені (осы құралдың 11.3-суретін қараңыз);

h_K – орталық сақинаның жоғарғы және төменгі сөрелерінің тік остері арасындағы биіктік бойынша қашықтық, (осы құралдың 11.3-суретін қараңыз);

A_1 – орталық сақинаның жоғарғы сөресінің ауданы, (осы құралдың 11.3-суретін қараңыз);

A_2 – орталық сақинаның төменгі сөресінің ауданы, (осы құралдың 11.3-суретін қараңыз);

I_y – көлденең оске қатысты арқалық қимасының инерция сәті.

11.2.2.8 Егерде арқалық қиманың инерция сәті I_y арқалықтың ұзындығы бойынша тербеледі (мысалы, арқалықпен бірлесіп жұмыс атқаратын шатыр плитасының тиімді енінің өзгерісінен), осы құралдың 11.2.2.7-тармағында резервуар осінің 0,5 r қашықтығында I_y мағынасы қолданылуы мүмкін.

11.2.2.9 Осы құралдың 11.2.2.7-тармағында берілген талаптар орындалған жағдайда орталық сақинаны жобалаған кезде тек төменгі белдеу есебімен шектелуге болады.

11.2.2.10 Егерде шатыр қаптамасын тіреу үшін кемінде 10 тең жойылған арқалық қолданылатын болса, онда орталық сақинадағы бойлықты күш $N_{r,Ed}$ және иілуші сәт $M_{r,Ed}$ (11.14) және (11.15) формулалары бойынша анықталуы мүмкін:

$$N_{r,Ed} = \frac{N_{2,Ed}}{2\beta} \quad (11.14)$$

$$M_{r,Ed} = \frac{r_K \beta N_{2,Ed}}{2(3 + \beta^2)} \quad (14.15)$$

мұндағы

$$N_{2,Ed} = \frac{N_{Ed} e_0}{h_K} + \frac{M_{Ed}}{h_K} \quad (14.16)$$

мұндағы $N_{2,Ed}$ – орталық сақинаның төменгі сөресіндегі бойлықты күштің жобалық мағынасы;

N_{Ed} – арқалықтың бойлықты күшінің жобалық мағынасы;

M_{Ed} – орталық сақинаға түйіскен орындағы арқалық қимасының иілуші сәтінің жобалық мағынасы;

e_0 – орталық сақинаның жоғарғы белдігінің осіне қатысты арқалықтың бейтарап осінің эксцентритеті, (осы құралдың 11.3-суретін қараңыз);

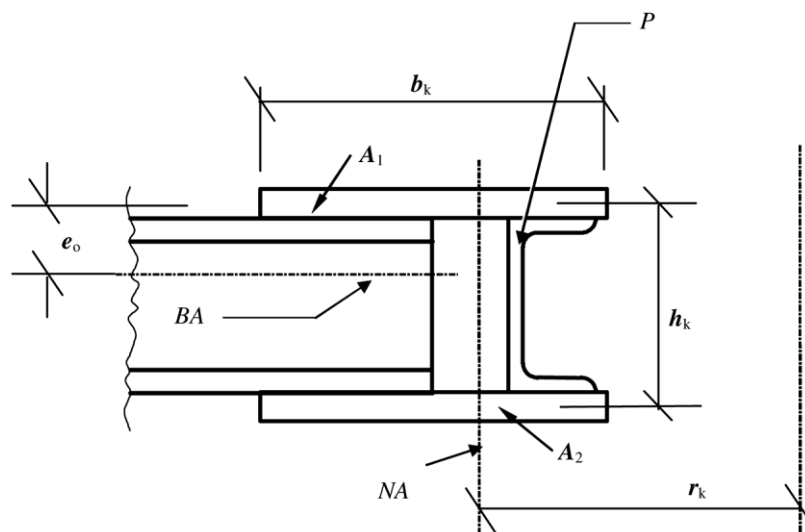
r_k – резервуардың орталық осіне қатысты орталық сақинаның тік бейтарап осінің радиусы, (осы құралдың 11.3-суретін қараңыз).

11.2.3 Бағандар қолдайтын шатыр

11.2.3.1 Шатырдың барлық элементтерінің қалыңдығы тоттанбайтын болат үшін 3 мм кем емес және басқа болат үшін 5 мм кем емес.

11.2.3.2 Шатырдың элементтері үлкен деформациялар теориясын қолдана отырып жобалануы мүмкін.

11.2.3.3 Шатырдың қаңқалы көтеруші құрылымын жобалауды ҚР ҚН EN 1993-1-1 нұсқаулықтарына сәйкес орындаған дұрыс.



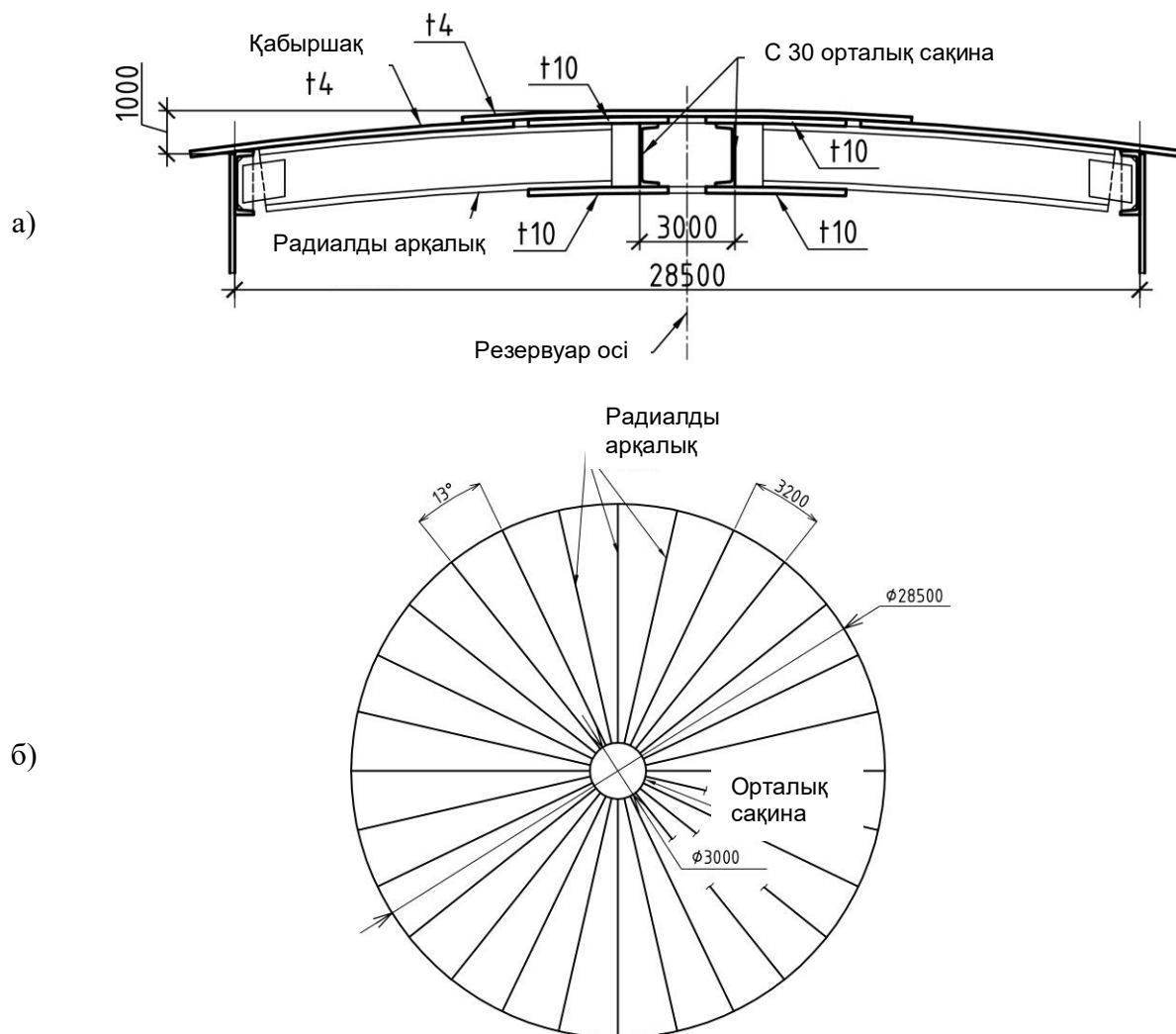
P – орталық сақина қабырғасының ролін орындайтын профиль; BA – арқалықтың осі; A – резервуардың осі; NA – оған қатысты көлденең жазықтықта орталық сақинаның иілуі жүретін бейтарап тік ось

11.3-сурет – Шатырдың орталық сақинасы

3 МЫСАЛ Сфералық шатырдың радиалды арқалықтары мен орталық сақинаның есебі

1 Бастапқы деректер

Аталған мысалда радиалды арқалық түріндегі көтеруші қаңқалы құрылым резервуардың сфералық шатырын жобалайтын оңтайландырылған тәсіл қарастырылады. Резервуардың және жүктеменің сипаттамасы – 1-мысалды қараңыз. Шатырдың және шатырдың орналасушы құрылымының орналасу сызбасы 1-суретте берілген.



а) көлденең тілік; б) жоспардағы түрі

1 Сурет – Шатырдың және көтеруші шатырдың орналасу сызбасы:

2 Есептеу тәртібі

Шатыр құрылымының есебі 11.2.2 ҚР ҚН EN 1993-4-2-тармағының нұсқаулықтарына сәйкес келесі тәртіпте жүргізіледі:

1. Радиалды арқалықтардың есебі

1.1. Арқалықтың жүктемесін анықтау 11.5 ҚР ҚН EN 1993-4-2 формуласы)

1.2. Радиалды арқалықта әрекет ететін ішкі күштерді анықтау 11.6, 11.7 ҚР ҚН EN 1993-4-2 формулалары)

1.2.1 11.6 ҚР ҚН EN 1993-4-2 формуласы бойынша қалыпты күшті N_{Ed} анықтау

1.2.2 Радиалды арқалықтың көлденең қимасын алдын ала анықтау

1.2.3 Іріктелген қиманың сипаттамасын анықтау (7.4.2.2.2 ҚР ҚН EN 1993-4-2-тармағының нұсқаулықтарын есепке ала отырып)

1.2.4 11.7 ҚР ҚН EN 1993-4-2 формуласы бойынша иілуші сәттерді анықтау M_{Ed}

3 Радиалды арқалықтарды есептеу

3.1 Арқалықтың жүктемесін анықтау

11.5 ҚР ҚН EN 1993-4-2 формуласы бойынша жалпы тік жобалық жүктеме анықталады P_{Ed} :

$$P_{Ed} = \beta r^2 p_{v,Ed}$$

$$\text{мұндағы } \beta = \pi/n = \frac{3,14}{28} = 0,1122;$$

n – шатырдың радиалды арқалықтың саны, $n = 28$;

r – резервуардың радиусы, $r = 14,25$ м;

$p_{v,Ed}$ – қолдайтын құрылымның өзіндік салмағын қоса, тік таратылған жобалық жүктеменің ең жоғары мағынасы:

$$p_{v,Ed} = p_{сн} + p_{с.в.} + p_{техн} = 1,4 + 0,4 + 0,4 = 2,2 \text{ кПа}$$

мұндағы $p_{сн}$ – қар жабынының жүктемесі, $p_{сн} = 1,4$ кПа;

$p_{с.в.}$ – қолдаушы құрылымның өзіндік салмағын жүктеу, $p_{с.в.} = 0,4$ кПа;

$p_{техн}$ – техникалық жабдықтың жүктемесі, $p_{техн} = 0,4$ кПа.

$$P_{Ed} = \beta r^2 p_{v,Ed} = 0,1122 \cdot 14,25^2 \cdot 2,2 = 50,124 \text{ кН}$$

3.2 Радиалды арқалықтың әрекет ететін ішкі күштерін анықтау

Радиалды арқалықтың ішкі күшін анықтау (N_{Ed} бойлықты күші және иілуші сәт M_{Ed}) 11.6, 11.7 ҚР ҚН EN 1993-4-2 формуласы бойынша орындалады.

3.2.1 Қалыпты күштерді анықтау N_{Ed}

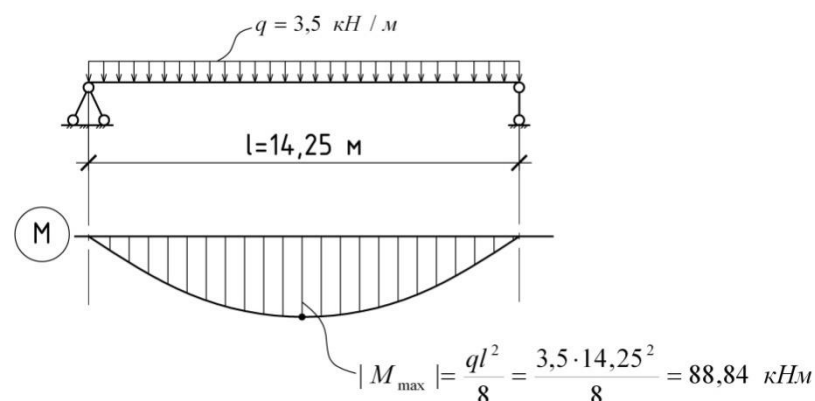
Қалыпты күштердің жобалық мағынасы N_{Ed} 11.6 ҚР ҚН EN 1993-4-2 формуласы бойынша орындалады:

$$N_{Ed} = 0,375 \frac{r}{h} P_{Ed} = 0,375 \cdot \frac{14,25}{1} \cdot 50,124 = 267,85 \text{ кН}$$

мұндағы h – резервуар қақпағының көтерілу тілі, $h = 1$ м.

3.2.2 Радиалды арқалықтың көлденең қимасын алдын ала анықтау

11.7 ҚР ҚН EN 1993-4-2 формуласына арқалық қимасының геометриялық сипаттамасы кіреді (I_y), онда арқалықта әрекет ететін күштерді анықтау үшін алдын ала арқалықтың қимасын беру қажет. Иілуші элементтің қимасын алдын ала анықтаудың қарапайым нұсқасы анықталатын бір қанатты арқалықты статикалық ретінде қарастыру болып табылады. Аталған мысалда арқалық тегіс таратылып жүктелген қарқындылық жүктемесі ретінде қарастырылуы мүмкін $p_{v,Ed}$. Радиалды арқалықтың алдын ала мөлшерін анықтауды беріктік талабына қарай орындаймыз 6.12 ҚР ҚН EN 1993-1-1 формуласы).



2 Сурет – Радиалды арқалықтың алдын ала қимасын анықтауға

Иілуші элемент ретінде радиалды арқалықтың қажетті қимасын анықтау 6.12 ҚР ҚН EN 1993-1-1 формуласы бойынша беріктік талабынан өндіріледі:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1,0$$

мұндағы $M_{Ed} = M_2 = 88,84 \text{ кН} \cdot \text{м}$ – статикалық есептің ең жоғары есептік сәті;

$M_{c,Rd}$ – 6.13 - 6.15 ҚР ҚН EN 1993-1-1 формуласы бойынша анықталатын көлденең қиманың қабылданған класына тәуелді түрде көлденең қиманың бас остерінің біріне қатысты иілу кезіндегі есептік көрсеткіш қабілет.

5.5.2 ҚР ҚН EN 1993-1-1-тармағының нұсқаулығына сәйкес анықталатын көлденең қима класы. Көлденең қиманың 3-ші класы мысалында қабылдаймыз, ол үшін $M_{c,Rd}$ иілім кезіндегі есептік көрсетуші қабілет 6.14 ҚР ҚН EN 1993-1-1 формуласы бойынша анықталады:

$$M_{c,Rd} = M_{el,Rd} = \frac{W_{el,min} f_y}{\gamma_{M0}}$$

мұндағы $W_{el,min}$ – серпімділік шегінен аспайтын ең жоғары кернеуге ие талшық үшін қиманың қарсылық сәті;

f_y – болаттың аққыштық шегінің сипаттамалық мағынасы;

γ_{M0} – сенімділіктің жеке коэффициенті 2.9.2.2 ҚР ҚН EN 1993-4-2-тармағына сәйкес қабылданады; $\gamma_{M0} = 1,00$.

ҚР ҚН EN 1993-1-1 3.1 -кестесі бойынша резервуар үшін қалыңдығы 40 мм илем кезінде $f_y = 235 \text{ Н/мм}^2$ және $f_u = 360 \text{ Н/мм}^2$ сипаттамаларына ие болатты S235 қабылдаймыз.

Шекті жағдай талабынан қарсылықтың талап етілетін сәтін анықтау, оның барысында

$$M_{c,Rd} = M_{Ed}$$

$$W_{el,min}^{tr} = \frac{M_{c,Rd} \cdot \gamma_{M0}}{f_y} = \frac{M_{Ed} \cdot \gamma_{M0}}{f_y} = \frac{88840 \cdot 1}{235 \cdot 10^6} = 387,04 \text{ см}^3$$

MEMST 8239-89 бойынша № 30 қоставрдың радиалды арқалықтың алдын ала қимасы ретінде қабылдаймыз.

3.2.3 Радиалды арқалықтың көлденең қимасының геометриялық сипаттамасын анықтау.

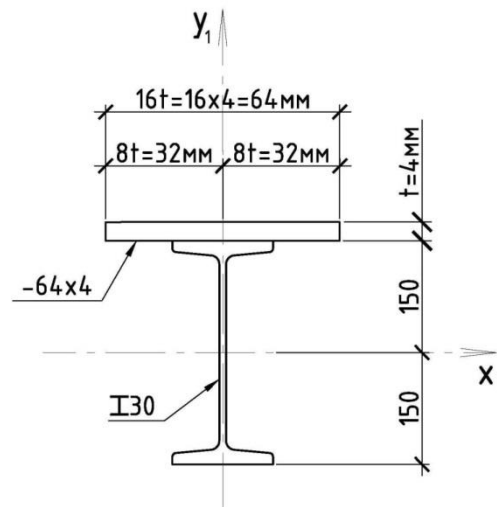
Радиалды арқалықтың көлденең қимасының геометриялық сипаттамасын анықтауды 7.4.2.2.2 ҚР ҚН EN 1993-4-2-тармағының ұсынысын есепке ала отырып жүргіземіз, соған сәйкес радиалды арқалықтың және арқалыққа бекітілген ені 16t шатыр қаптамасы учаскесінің бірлескен жұмысын ескеруге болады. Арқалықтың геометриялық сипаттамасын анықтау материалдардың қарсылығының негізгі формуласын қолдана отырып жүргізіледі.

3.2.3.1 Радиалды арқалық пен шатыр төсемесінің ауырлық орталығының жағдайын анықтау (3-суретті қараңыз).

Координаталарының көмекші жүйесінің бастамасы ретінде қоставрдың ауырлық орталығын қабылдаймыз.

Элементтердің ауырлық қимасы орталығының қашықтығын координаталардың көмекші жүйесінің координаталары басталғанға дейін анықтаймыз:

$$\begin{aligned} x_{\text{двутавра}} &= 0 & u_{\text{двутавра}} &= 0 \\ x_{\text{листа}} &= 0 & u_{\text{листа}} &= 15,2 \text{ см} \end{aligned}$$



3 Сурет – Радиалды аркалықтың геометриялық сипаттамасының есебіне

Ауырлық орталығының координатасын анықтаймыз. Қиманың тік осіне қатысты симметриялық үшін тек y координатасын ғана анықтаймыз:

$$y = \frac{A_{\text{двутавра}} \cdot y_{\text{двутавра}} + A_{\text{листа}} \cdot y_{\text{листа}}}{A_{\text{двутавра}} + A_{\text{листа}}} = \frac{46,5 \cdot 0 + 2,56 \cdot 15,2}{46,5 + 2,56} = 0,793 \text{ см}$$

Ауырлық орталығын анықтаудың дұрыстығын тексеру:

$$S_{xc} = 46,5 \cdot (-0,793) + 2,56 \cdot 14,407 = 7,4 \cdot 10^{-3}$$

Тексеру орындалуда, ауырлық орталығының жатысы дұрыс анықталған.

3.2.3.2 Көлденең оске қатысты инерция сәтін анықтау

$$I_y = 7080 + 0,03 + [46,5 \cdot (-0,793)^2 + 2,56 \cdot 14,407^2] = 7640,6 \text{ см}^4$$

3.2.3.3 Иілуші сәттерді анықтау M_{Ed}

11.13 ҚР ҚН EN 1993-4-2 формуласы бойынша ε өлшемі:

$$\varepsilon = N_{Ed} \frac{(0,6r)^2}{\pi^2 E I_y} = 267,85 \cdot 10^3 \cdot \frac{(0,6 \cdot 14,25)^2}{3,14^2 \cdot 2,1 \cdot 10^{11} \cdot 7640,6 \cdot 10^{-8}} = 0,124$$

11.7 ҚР ҚН EN 1993-4-2 формуласы бойынша M_{Ed} иілім сәтінің мәнін анықтаймыз:

$$M_{Ed} = \frac{1}{3} \left(\frac{r}{1-\varepsilon} \right) \left\{ 1 - \left(\frac{x}{r} \right)^3 - 1,10 \left(\frac{y}{h} \right) \right\} P_{Ed}$$

мұнда x – резервуардың ось линиясынан радиалды арақашықтық, (11.2 суретті қараңыз ҚР ҚН EN 1993-4-2), $x = 7,1$ м;

y – x координатының функциясы болып табылатын тік координат (11.2 суретті қараңыз ҚР ҚН EN 1993-4-2); $y = 0,25$ м;

I_y – көлденең оське қатысты аркалық қимасының инерция сәті.

$$\begin{aligned} M_{Ed} &= \frac{1}{3} \left(\frac{r}{1-\varepsilon} \right) \left\{ 1 - \left(\frac{x}{r} \right)^3 - 1,10 \left(\frac{y}{h} \right) \right\} P_{Ed} = \\ &= \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{14,25}{1-0,124} \right) \cdot \left\{ 1 - \left(\frac{7,1}{14,25} \right)^3 - 1,10 \cdot \left(\frac{0,25}{1} \right) \right\} \cdot 50,124 = 163,4 \text{ кН} \cdot \text{м} \end{aligned}$$

ҚР ҚН EN 1993-4-2 11.2.2.7 тармағына сәйкес алынған нәтижелер ҚР ҚН EN 1993-4-2 11.8 – 11.12 формулаларының шарттары орындалатын болса ғана есепте пайдаланылуы мүмкін.

а) ҚР ҚН EN 1993-4-2 11.8 формула шарттары

$$p_{v,Ed} \geq 1,2 \text{ кН/м}^2$$

$$2,2 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} > 1,2 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \quad \text{Условие выполняет}$$

б) ҚР ҚН EN 1993-4-2 11.9 формуласының шарттары

$$I_y \geq \frac{N_d \cdot r^2}{\pi^2 \cdot E} = \frac{267,85 \cdot 14,25^2}{3,14^2 \cdot 2,1 \cdot 10^8} = 2624 \cdot 10^{-8} \text{ м}^4 = 2624 \text{ см}^4$$

$$7640,6 \text{ см}^4 > 2624 \text{ см}^4 \quad \text{Условие выполняется}$$

в) ҚР ҚН EN 1993-4-2 11.10 формуласының шарттары

$$b_K \geq 2 \cdot h_K$$

$b_K = 370$ мм бастапқы мән кезінде

$$370 \text{ мм} < 620 \text{ мм} \quad \text{Условие не выполняется}$$

$b_K = 620$ мм қабылдаймыз

г) ҚР ҚН EN 1993-4-2(11.11) формуласының шарты

$$A_1 \geq A_2$$

орталық сақинаның жоғары және төменгі белдеулері бойынша бірдей жапсырмаларды қабылдаймыз, сонда

$$A_1 = A_2 \quad \text{Условие выполняется}$$

д) ҚР ҚН EN 1993-4-2 (11.12) формуласының шарты (4-суретті қараңыз)

$$h_K^2 \cdot \left(\frac{A_1 A_2}{A_1 + A_2} \right) \geq \frac{I_y}{2\beta}$$

$$h_K^2 \left(\frac{A_1 A_2}{A_1 + A_2} \right) = 31^2 \cdot \left(\frac{(62 \cdot 1) \cdot (62 \cdot 1)}{62 + 62} \right) = 29791 \text{ см}^4$$

$$\frac{I_y}{2\beta} = \frac{7640,6}{2 \cdot 0,1122} = 34049 \text{ см}^4$$

$$29791 \text{ см}^4 > 34049 \text{ см}^4 \quad \text{Условие не выполняется}$$

Орталық сақина бойынша 12 мм жапсырма қалыңдығын қабылдаймыз. Сонда

$$h_K^2 \left(\frac{A_1 A_2}{A_1 + A_2} \right) = 31,2^2 \cdot \left(\frac{(62 \cdot 1,2) \cdot (62 \cdot 1,2)}{62 + 62} \right) = 43454,4 \text{ см}^4$$

$$43454,4 \text{ см}^4 > 34049 \text{ см}^4 \quad \text{Условие выполняется}$$

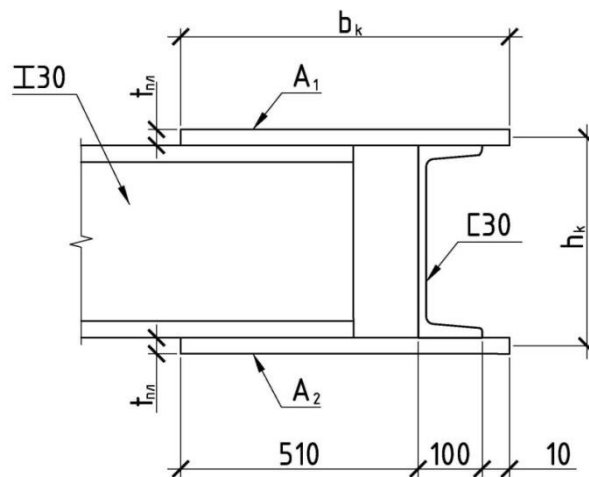
$N_{Ed} = 267,85$ кН және $M_{Ed} = 163,4$ кН·м тең радиалды арқалықта күшті түпкілікті қабылдаймыз. Радиалды арқалықтың одан әрі есебі ҚР ҚН EN 1993-1-1 сәйкес жүргізіледі.

3.3 Орталық сақинада қолданылатын ішкі күштерді анықтау

Орталық сақинада қолданылатын ішкі күштерді анықтауды ҚР ҚН EN 1993-4-2 11.2.2.10 тармағында берілген 11.14, 11.15 формулалары бойынша жүргіземіз.

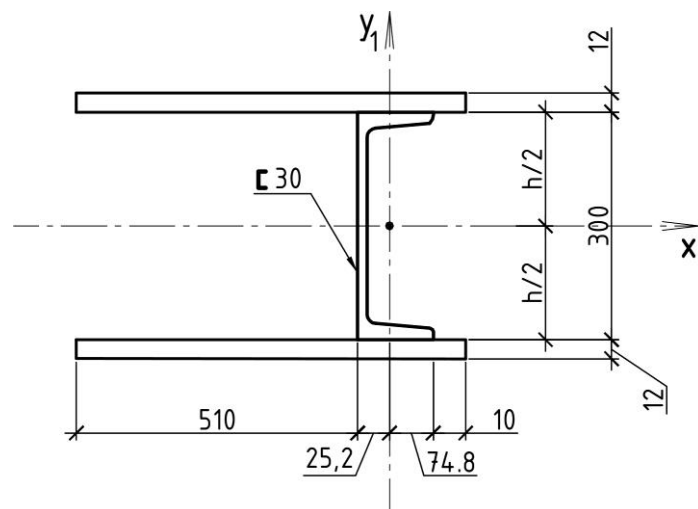
3.3.1 Орталық сақинаның көлденең қимасының геометриялық сипаттамаларын анықтау

Орталық сақинаның көлденең қимасының геометриялық сипаттамаларын анықтау кедергі материалдарының негізгі формулаларын пайдалана отырып жүргізіледі.



4 Сурет – Орталық сақинаның есебіне

3.3.3.1 Орталық ауыртпалығының орталық жай-күйін анықтау (5-сурет)



5 Сурет – Орталық сақинаның геометриялық сипаттамаларының есебіне

Радиалды арқалықтың қима ауыртпалығының ортасы мен жабын төсемінің жай-күйін анықтау.

Координаттардың қосалқы жүйесінің бастамасы үшін швеллердің ауыртпалық ортасын аламыз.

Қосалқы жүйе координаттары басталғанға дейін элементтердің қималарының ауыртпалық орталығынан арақашықтықты анықтаймыз:

$$\begin{aligned}
 x_{\text{швеллера}} &= 0 & u_{\text{швеллера}} &= 0 \\
 x_{\text{н.листа}} &= -22,52 \text{ см} & u_{\text{н.листа}} &= -15,5 \text{ см} \\
 x_{\text{в.листа}} &= -22,52 \text{ см} & u_{\text{в.листа}} &= 15,5 \text{ см}
 \end{aligned}$$

Ауыртпалық ортасының координаттарын анықтаймыз. Көлденең оське қатысты симметриялы қима үшін тек x координатын ғана анықтаймыз:

$$x = \frac{A_{\text{швеллера}} \cdot x_{\text{швеллера}} + A_{\text{н.листа}} \cdot x_{\text{н.листа}} + A_{\text{в.листа}} \cdot x_{\text{в.листа}}}{A_{\text{двутавра}} + A_{\text{листа}} + A_{\text{в.листа}}} =$$

$$= \frac{40,5 \cdot 0 + 74,4 \cdot (-22,52) + 74,4 \cdot (-22,52)}{40,5 + 74,4 + 74,4} = -17,7 \text{ см}$$

Көлденең бойынша құрамдас қиманың ауыртпалық ортасына дейін элементтер қимасығығ ауыртпалық ортасынан арақашықтықты анықтаймыз:

$$a_{\text{швеллера}} = x_{\text{швеллера}} - x = 0 + 16,98 = 16,98 \text{ см}$$

$$a_{\text{н.листа}} = x_{\text{н.листа}} - x = -22,52 + 16,98 = -5,54 \text{ см}$$

$$a_{\text{в.листа}} = x_{\text{в.листа}} - x = -22,52 + 16,98 = -5,54 \text{ см}$$

Ауыртпалық ортасын анықтаудың дұрыстығын тексеру:

$$S_{\text{ус}} = A_{\text{швеллера}} \cdot a_{\text{швеллера}} + A_{\text{н.листа}} \cdot a_{\text{н.листа}} + A_{\text{в.листа}} \cdot a_{\text{в.листа}}$$

$$S_{\text{ус}} = 40,5 \cdot 17,7 + 74,4 \cdot (-4,82) + 74,4 \cdot (-4,82) = -0,366 \sim 0$$

Тексеру орылдалады, ауыртпалық ортасының жай-күйі дұрыс.

Орталық сақинаның ауыртпалық ортасы арқылы өтетін резервуар осінен тік осіне дейін қашықтық мынаны құрайды: $150 + 17,7 = 167,7 \text{ см}$.

3.3.2 $N_{r,Ed}$ көлденең күшті анықтау

Орталық сақинада қолданылатын $N_{r,Ed}$ көлденең күшті ҚР ҚН EN 1993-4-2(11.14) формуласы бойынша анықтаймыз:

$$N_{r,Ed} = \frac{N_{2,Ed}}{2\beta} = \frac{650,8}{2 \cdot 0,1122} = 2900,2 \text{ кН}$$

мұнда

$$N_{2,Ed} = \frac{N_{Ed} e_0}{h_K} + \frac{M_{Ed}}{h_K} = \frac{267,85 \cdot 0,14807}{0,312} + \frac{163,4}{0,312} = 650,8 \text{ кН}$$

мұнда $N_{2,Ed}$ – орталық сақинаның төменгі сөресіндегі көлденең күштің жоба мәні;

e_0 – орталық сақинаның жоғары белдеуінің осіне қатысты арқалықтың бейтарап осінің эксцентриситеті, $e_0 = 15 + 0,6 - 0,793 = 14,807 \text{ см}$.

3.3.3 $M_{r,Ed}$ иілім сәтін анықтау

(11.15) формуласы бойынша орталық сақина арқалығындағы $M_{r,Ed}$ иілім сәтін анықтау:

$$M_{r,Ed} = \frac{r_k \beta N_{2,Ed}}{2(3 + \beta^2)} = \frac{1,677 \cdot 0,1122 \cdot 650,8}{2 \cdot (3 + 0,1122^2)} = 20,3 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

мұнда r_k – резервуардың орталық осіне қатысты орталық сақинаның тік бейтарап осінің радиусы, $r_k = 1,677 \text{ м}$.

11.2.4 Байланыстар

11.2.4.1 Егер жобада көтергіш элементтердің төбесінің қаптамасығ тиісінше бекіту арқылы қатаңдық қарастырылмаған болса жабынның қатаңдығын қамтамасыз ету үшін байланыс жүйесін орнату қажет.

11.2.4.2 15 м астам резервуар жабынының диаметрі кезінде кемінде екі байланыс блогын орнату қажет (яғни, өзара байланыс элементтерімен біріктірілген екі қос арқалық). Байланыс блоктары резервуарды айнала біркелкі бөлінуі тиіс.

11.2.4.3 15 бастап 25 м дейін диаметрлі резервуарларда байланыс жүйесін пайдалану кезінде қатаңдықтың қосымша сақина элементін қарастыру қажет. 25 м астам диаметрлі резервуарлар үшін қатаңдықтың екі қосымша сақина элементін қарастыру қажет.

11.2.4.4 Байланыс элементтері жабын элементтерінде қалыпты күш сомасынан 1%-ға тең күшке есептеледі.

11.2.5 Карнизді түйіннің тіректі сақинасы

11.2.5.1 Тіректі сақинаны есептеу кезінде тиімді алаң түсінігі пайдаланылады, ол өңіне тікелей сақина элементі мен қабырға учаскесін және жабынды қамтиды (осы құралдың 11.4 суреті). Тіректі сақинаның беріктігі егер (11.17) формуласының шарты орындалса қамтамасыз етілген болып саналады:

$$\frac{N_{Ed}}{A_{eff}} \leq f_{y,d} \quad (11.17)$$

мұнда

$$N_{Ed} = \frac{p_{v,Ed} r^2}{2 \tan \alpha} \quad (11.18)$$

мұнда A_{eff} – осы құралдың 11.4 суретінде көрсетілген жоғары тіректі сақинаның тиімді (берілген) ауданы;

α – бұл карнизді түйіндені көлденеңге жабын көлбеуінің бұрышы;

$p_{v,Ed}$ – бұл сақтаушы құрылымның меншікті салмағын қоса алғанда (төменге бағыт – оң) тігінен жобалау бөлінген жүктеменің барынша жоғары мәні.

11.2.5.2 Егер тіректі сақинаға жабын арқалығының қабысу түйіндері арасындағы арақашықтық 3,25 м аспайтын болса, онда тіректі сақинаның тұрақтылығы қамтамасыз етілген болып саналады.

11.2.5.3 Егер $p_{v,Ed}$ жобалау бөлінген жүктеме жоғарыға бағытталған болса, онда тіректі сақинада туындайтын иілім сәттерін есептемеуге болады.

11.2.5.4 Егер тіректі сақинаға жабын арқалығының қабысу түйіндері арасындағы арақашықтық 3,25 м аспайтын болса және $p_{v,Ed}$ жобалау бөлінген жүктеме төменге бағытталған болса, онда тіректі сақинада туындайтын иілім сәттерін есептемеуге болады.

11.2.5.5 Егер тіректі сақинаға жабын арқалығының қабысу түйіндері арасындағы арақашықтық 3,25 м асатын болса, онда N_{Ed} тіректі сақинадағы қолданылатын көлденең күшке қосымша көлденең жалпақтықтағы иілім сәттерін ескеру қажет (тік оське қатысты). Иілім сәттерінің мәні (11.19) және (11.20) формулалары бойынша анықталады (егер тіректі сақинаның ішкі аймағы бойынша тартылушы кернеуді (күшті) туғызатын болса сәт оң деп қабылданады).

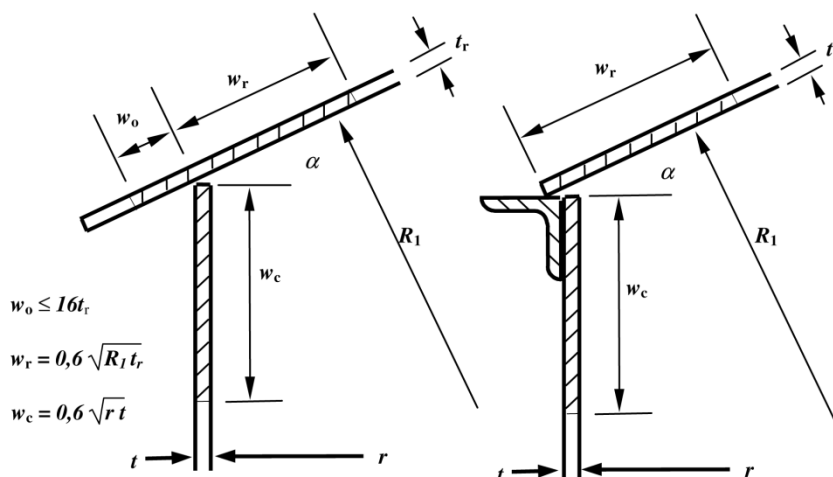
Тіректі қимада (жабын арқалығының қабысу орнында):

$$M_{s,Ed} = - \left(\frac{p_{v,Ed} r^3}{2 \tan \alpha} \right) \left(1 - \frac{\beta}{\tan \beta} \right) \quad (11.19)$$

Арқалықтар арасындағы арақашықтық жартысында:

$$M_{s,Ed} = - \left(\frac{p_{v,Ed} r^3}{2 \tan \alpha} \right) \left(\frac{\beta}{\sin \beta} - 1 \right) \quad (11.20)$$

ЕСКЕРТПЕ $p_{v,Ed}$ жоғары бағытында қолданылса, ол барлық қалыпты күштер мен иілім сәттерінде белгі өзгерісін туғыза отырып теріс ретінде алынады.



11.4 Сурет. – Карнизді түйіннің жоғары тіректі сақинасы

11.3 Қабықшаны жобалау

11.3.1 Қабықша

11.3.1.1 Гидростатикалық және ішкі артық қысымнан қабықшаның әрбір белдеуі үшін шартты орындауды тексеру қажет:

$$[\gamma_F \rho g H_{red} + p_{Ed}] \left(\frac{r}{t} \right) \leq f_{y,d} \quad (11.21)$$

Мұнда H_{red} мәні - j - го $H_{red,j}$ белдеу үшін $j - 1$ төменде орналасқан белдеу үшін $H_{red,j-1}$ мәні арқылы анықталады:

$$H_{red,j} = H_j - \Delta H \quad \text{если} \quad \frac{H_{red,j-1}}{f_{y,d,j-1}} \geq \frac{H_{red,j}}{f_{y,d,j}} \quad (11.22)$$

$$H_{red,j} = H_j \quad \text{если} \quad \frac{H_{red,j-1}}{f_{y,d,j-1}} < \frac{H_{red,j}}{f_{y,d,j}} \quad (11.23)$$

мұнда $\Delta H = 0,3$ м

ρ – сақталатын сұйықтықтың тығыздығы;

g – еркін құлауды жылдамдату;

H_j – j – го қабырға белдеуі төменінен тігі бойынша сұйықтық деңгейіне дейінгі арақашықтық;

p_{Ed} – сұйықтық деңгейі үстіндегі ішкі артық қысымның жобалау мәні (яғни, A қосымшасына сәйкес жеке сенімділік коэффициентіне көбейтілген сипаттамалық мән).

4 МЫСАЛ Оңайлатылған тәсілді пайдалана отырып резервуар қабырғасының қалыңдығын анықтау

ҚР ҚН EN 1993-4-2 11.3.1 тармағына сәйкес резервуарды жобалауға оңайлатылған тәсілді пайдалана отырып резервуар қабырғасының қалыңдығын анықтау мысалы берілген.

1 Бастапқы деректер 1-мысалдан алынған.

Сақталатын сұйықтық түрі – бензол.

Үлесті салмақ – $\rho = 8,8 \text{ кН/м}^3$ (А қосымшасы, А кестесі.10 ҚР ҚН EN 1991-1-1).

Құйылудың жобалау деңгейі – $H_n = 16,5 \text{ м}$.

2 Белдеу қалыңдықтарын анықтау әдістемесі

Гидростатикалық және ішкі артық қысым әсерінен қабықшаның әрбір белдеуі үшін ҚР ҚН EN 1993-4-2 11.21 шартының орындалуын тексеру қажет:

$$[\gamma_F \rho_g H_{red,j} + p_{Ed}] \left(\frac{r}{t_j} \right) \leq f_{yd,j}$$

мұнда γ_F – гидростатикалық жүктеме бойынша сенімділік коэффициенті; ҚР ҚН EN 1991-4 $\gamma_F = 1,20$ В.3(2) тармағы бойынша;

$\rho = 8,8 \text{ кН/м}^3$ – бензолдың үлесті салмағы (бастапқы деректерді қараңыз)

$r = 14,25 \text{ м}$ – резервуар радиусы (бастапқы деректерді қараңыз)

t_j – қалыңдық j – го резервуар қабырғасының белдеуі (бастапқы деректерді қараңыз)

$f_{yd,j}$ – резервуар қабырғасының j – го белдеуінің болат тұрақсыздығы шегінің жобалау мәні

ҚР ҚН EN 1993-4-2 11.3.1 тармағының көрсеткіштерін пайдаланудың көрнекілігі мақсатындағы мысалда болаттың мынадай маркалары алынды: S355, S275, S235. Осы болат маркаларының деректерін пайдалану қабырғаның әртүрлі белдеулеріне қатысты 2-суретте бейнеленген.

$H_{red,j}$ – резервуарда сақталатын сұйықтықтың берілген биіктігі, резервуар қабырғасының j – го белдеуі үшін.

мұнда H_{red} мәні $H_{red,j}$ j – го белдеуі үшін ҚР ҚН EN 1993-4-2 11.22 және 11.23 шарттарынан $j - 1$ төменде орналасқан белдеу үшін $H_{red,j-1}$ мәні арқылы анықталады:

$$H_{red,j} = H_j - \Delta H \quad \text{если} \quad \frac{H_{red,j-1}}{f_{yd,j-1}} \geq \frac{H_{red,j}}{f_{yd,j}}$$

$$H_{red,j} = H_j \quad \text{если} \quad \frac{H_{red,j-1}}{f_{yd,j-1}} < \frac{H_{red,j}}{f_{yd,j}}$$

мұнда $\Delta H = 0,3 \text{ м}$;

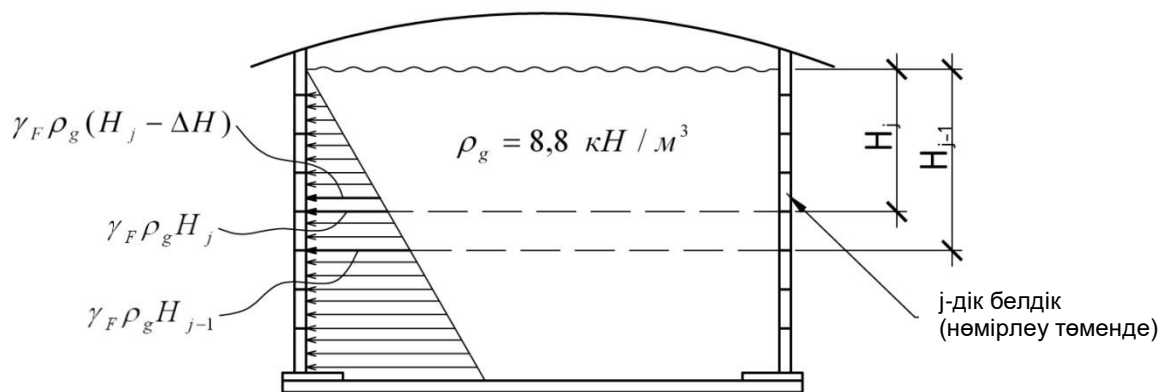
p_{Ed} – сұйықтық деңгейінің үстінде ішкі артық қысымның жобалау мәні.

Осы мысалда артық қысым ($p_{Ed} = 0$) жоқ деп қабылдаймыз, сонда 11.21 шарты мынадай түрге ие болады:

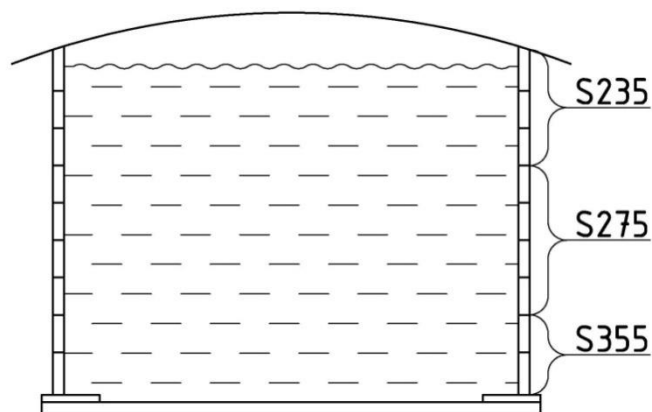
$$\gamma_F \rho_g H_{red,j} \left(\frac{r}{t_j} \right) \leq f_{yd,j}$$

Соның салдарынан резервуардың j – го белдеуінің талап етілетін қабырға қалыңдығы мынадай формула бойынша анықталады:

$$t_j = \frac{\gamma_F \rho_g H_{red,j} r}{f_{yd,j}}$$



1 Сурет – $H_{red,j}$ берілген биіктікті анықтауға



2 Сурет – Резервуар белдеулеріндегі болаттарды пайдалану

3 Белдеулер қалыңдығын анықтау

3.1 1-белдеу

Біріншіден төмен белдеу жоқ екендігін ескере отырып $H_{red,1}$ анықтау үшін ҚР ҚН EN 1993-4-2 11.22 және 11.23 шарттарды пайдалану мүмкін емес болып табылады. ҚР ҚН EN 1993-4-2 11.22 және 11.23 шарттарының нәтижесінен $H_{red,1}$ біршама тиімсіз мәнді (барынша жоғары) қабылдаймыз:

$$H_{red,1} = H_1 = 16,5 \text{ м} > H_{red,1} = H_1 - \Delta H = 16,5 - 0,3 = 16,2 \text{ м}$$

По Таблице Резервуардың бірінші белдеуі үшін ҚР ҚН EN 1993-1-1 3.1 кестесі бойынша 40 мм илем қалыңдығы кезінде $f_{y,1} = 355 \text{ Н/мм}^2$ және $f_{u,1} = 510 \text{ Н/мм}^2$ сипаттамаларымен S355 болатын қабылдаймыз.

Болат тұрақсыздығы шегінің жобалау мәні ҚР ҚН EN 1993-4-2 11.1 формуласы бойынша анықталады:

$$f_{yd,1} = f_{y,1} / \gamma_{M0} = \frac{355}{1,00} = 355 \text{ Н/мм}^2 = 355 \text{ МПа}$$

мұнда $\gamma_{M0} = 2.2$ ҚР ҚН EN 1993-4-2 2.2. кестесі мен 2.9.2.2. тармағына сәйкес қабылданады; $\gamma_{M0} = 1,00$.

Сонда бірінші белдеу үшін қабырғаның ең төменгі есеп қалыңдығы мынаны құрайды:

$$t_1^{tr} = \frac{\gamma_F \rho_g H_{red,1}}{f_{yd,1}} = \frac{14,25 \cdot 1,2 \cdot 8,8 \cdot 16,5}{355} = 6,994 \text{ мм}$$

Бірінші белдеудің қалыңдығын қалыңдығы бойынша теріс шекті ауытқуды ескере отырып

МЕМСТ 19903-74 бойынша илемнің ең жақын көлеміне тең етіп қабылдаймыз.

8 мм тең табақ қалыңдығы кезінде қабырғаның бірінші белдеуі қалыңдығының есеп мәні мынаны құрайды:

$$t_1^p = t + \delta \geq t_1^{tp} = 8 + (-0,8) = 7,2 \text{ мм} > 6,994 \text{ мм}$$

мұнда $t = 8 \text{ мм}$ – МЕМСТ 19903-74 бойынша илем қалыңдығының номиналды мәні;
 $\delta = -0,8 \text{ мм}$ – МЕМСТ 19903-74 бойынша илем қалыңдығы бойынша шекті ауытқу;

Тексеру:

$$\gamma_F \rho_g H_{red,1} \left(\frac{r}{t_1^p} \right) = 1,2 \cdot 8,8 \cdot 16,5 \cdot \frac{14,25}{7,2} = 344,9 \text{ МПа} \leq f_{yd,1} = 355 \text{ МПа}$$

8 мм тең табақ қалыңдығы кезінде қабырғаның бірінші белдеуінің беріктігі қамтамасыз етілген.

3.2 2-белдеу

$H_{red,2}$ анықтау үшін ҚР ҚН EN 1993-4-2 11.22 және 11.23 бойынша шарттарды тексереміз:

$$\frac{H_{red,1}}{f_{yd,1}} = \frac{16,5}{355} = 0,0465 > \frac{H_{red,2}}{f_{yd,2}} = \frac{14,5}{355} = 0,0408$$

Мұнда ($H_{red,1}$, $H_{red,2}$) қарастырылатын белдеулер үшін сұйықтықтың алдын ала берілген есеп биіктіктері ретінде резервуардағы сұйықтық құйылуының жоғарысынан қарастырылатын белдеудің төменіне дейінгі арақашықтық қабылданды (1-суретке ұқсас).

Нәтижесінде $H_{red,2} = H_2 - \Delta H = 14,5 - 0,3 = 14,2 \text{ м}$

ҚР ҚН EN 1993-1-1 3.1. кестесі бойынша резервуардың екінші белдеуі үшін 400 мм дейінгі илем қалыңдығы кезінде $f_{y,2} = 355 \text{ Н/мм}^2$ және $f_{u,2} = 510 \text{ Н/мм}^2$ сипаттамаларымен S355 болатын аламыз.

Болат тұрақсыздығы шегінің жобалау мәні ҚР ҚН EN 1993-4-2 (11.1) формула бойынша анықталады:

$$f_{yd,2} = f_{y,2} / \gamma_{M0} = \frac{355}{1,00} = 355 \text{ Н/мм}^2 = 355 \text{ МПа}$$

мұнда γ_{M0} – ҚР ҚН EN 1993-4-2 2.2 кестесі мен 2.9.2.2. тармағына сәйкес қабылданады;
 $\gamma_{M0} = 1,00$.

Екінші белдеу үшін қабырғаның ең төменгі есеп қалыңдығы мынаны құрайды:

$$t_2^{tp} = \frac{\gamma_F \rho_g H_{red,2}}{f_{yd,2}} = \frac{14,25 \cdot 1,2 \cdot 8,8 \cdot 14,2}{355} = 6,019 \text{ мм}$$

Қалыңдығы бойынша теріс шекті ауытқуды ескере отырып МЕМСТ 19903-74 бойынша илемнің ең жақын жоғары көлеміне тең екінші белдеудің қалыңдығын қабылдаймыз.

7 мм тең табақ қалыңдығы кезінде қабырғаның екінші белдеуі қалыңдығының есеп мәні мынаны құрайды:

$$t_2^p = t + \delta \geq t_2^{tp} = 7 + (-0,6) = 6,4 \text{ мм} > 6,019 \text{ мм}$$

мұнда $t = 7 \text{ мм}$ – МЕМСТ 19903-74 бойынша илем қалыңдығының номиналды мәні;
 $\delta = -0,6 \text{ мм}$ – МЕМСТ 19903-74 бойынша илем қалыңдығы бойынша шекті ауытқу;

Тексеру:

$$\gamma_F \rho_g H_{red,2} \left(\frac{r}{t_2^p} \right) = 1,2 \cdot 8,8 \cdot 14,2 \cdot \frac{14,25}{6,4} = 333,9 \text{ МПа} \leq f_{yd,2} = 355 \text{ МПа}$$

7 мм тең табақ қалыңдығы кезінде екінші белдеудің беріктігі қамтамасыз етілген.

3.3 3-белдеу

$H_{red,3}$ анықтау үшін ҚР ҚН EN 1993-4-2 11.22 және 11.23 шарттарын тексереміз:

$$\frac{H_{red,2}}{f_{yd,2}} = \frac{14,5}{355} = 0,0408 < \frac{H_{red,3}}{f_{yd,3}} = \frac{12,5}{275} = 0,0455$$

мұнда ($H_{red,2}$, $H_{red,3}$) қарастырылатын белдеулер үшін сұйықтықтың алдын ала берілген есеп биіктіктері ретінде резервуардағы сұйықтық құйылуының жоғарысынан қарастырылатын белдеудің төменіне дейінгі арақашықтық қабылданды (1-суретке ұқсас).

Нәтижесінде $H_{red,3} = H_3 = 12,5$ м

ҚР ҚН EN 1993-1-1 3.1. кестесі бойынша резервуардың екінші белдеуі үшін 40 мм дейінгі илем қалыңдығы кезінде $f_{y,3} = 275$ Н/мм² және $f_{u,3} = 430$ Н/мм² сипаттамаларымен S275 болатын аламыз.

Болат тұрақсыздығы шегінің жобалау мәні ҚР ҚН EN 1993-4-2 (11.1) формула бойынша анықталады:

$$f_{yd,3} = f_{y,3} / \gamma_{M0} = \frac{275}{1,00} = 275 \text{ Н/мм}^2 = 275 \text{ МПа}$$

мұнда γ_{M0} – ҚР ҚН EN 1993-4-2 2.2 кестесі мен 2.9.2.2. тармағына сәйкес қабылданады; $\gamma_{M0} = 1,00$.

Үшінші белдеу үшін қабырғаның ең төменгі есеп қалыңдығы мынаны құрайды:

$$t_3^{tp} = \frac{\gamma_{Fp} H_{red,3}}{f_{yd,3}} = \frac{14,25 \cdot 1,2 \cdot 8,8 \cdot 12,5}{275} = 6,840 \text{ мм}$$

Қалыңдығы бойынша теріс шекті ауытқуды ескере отырып МЕМСТ 19903-74 бойынша илемнің ең жақын жоғары көлеміне тең үшінші белдеудің қалыңдығын қабылдаймыз.

8 мм тең табақ қалыңдығы кезінде қабырғаның үшінші белдеуі қалыңдығының есеп мәні мынаны құрайды:

$$t_3^p = t + \delta \geq t_3^{tp} = 8 + (-0,8) = 7,2 \text{ мм} > 6,840 \text{ мм}$$

мұнда $t = 8$ мм – МЕМСТ 19903-74 бойынша илем қалыңдығының номиналды мәні;

$\delta = -0,8$ мм – МЕМСТ 19903-74 бойынша илем қалыңдығы бойынша шекті ауытқу;

Тексеру:

$$\gamma_{Fp} H_{red,3} \left(\frac{r}{t_3^p} \right) = 1,2 \cdot 8,8 \cdot 12,5 \cdot \frac{14,25}{7,2} = 261,3 \text{ МПа} \leq f_{yd,3} = 275 \text{ МПа}$$

8 мм тең табақ қалыңдығы кезінде үшінші белдеудің беріктігі қамтамасыз етілген.

Есепті 7 мм орнына 8 мм тең екінші белдеудің қалыңдығын конструкциялық қабылдаймыз.

3.4 4-белдеу

$H_{red,4}$ анықтау үшін ҚР ҚН EN 1993-4-2 11.22 және 11.23 шартын тексереміз:

$$\frac{H_{red,3}}{f_{yd,3}} = \frac{12,5}{275} = 0,0455 > \frac{H_{red,4}}{f_{yd,4}} = \frac{10,5}{275} = 0,0382$$

мұнда ($H_{red,3}$, $H_{red,4}$) қарастырылатын белдеулер үшін сұйықтықтың алдын ала берілген есеп биіктіктері ретінде резервуардағы сұйықтық құйылуының жоғарысынан қарастырылатын белдеудің төменіне дейінгі арақашықтық қабылданды (1-суретке ұқсас).

Нәтижесінде $H_{red,4} = H_4 - \Delta H = 10,5 - 0,3 = 10,2$ м

ҚР ҚН EN 1993-1-1 3.1. кестесі бойынша резервуардың екінші белдеуі үшін 40 мм дейінгі илем қалыңдығы кезінде $f_{y,4} = 275$ Н/мм² және $f_{u,4} = 430$ Н/мм² сипаттамаларымен S275 болатын аламыз.

Болат тұрақсыздығы шегінің жобалау мәні ҚР ҚН EN 1993-4-2 11.1 формула бойынша анықталады:

$$f_{yd,4} = f_{y,4} / \gamma_{M0} = \frac{275}{1,00} = 275 \text{ Н/мм}^2 = 275 \text{ МПа}$$

мұнда γ_{M0} – ҚР ҚН EN 1993-4-2 2.2 кестесі мен 2.9.2.2. тармағына сәйкес қабылданады;
 $\gamma_{M0} = 1,00$.

Үшінші белдеу үшін қабырғаның ең төменгі есеп қалыңдығы мынаны құрайды:

$$t_4^{tr} = \frac{\gamma_F \rho_g H_{red,4}}{f_{y,d,4}} = \frac{14,25 \cdot 1,2 \cdot 8,8 \cdot 10,2}{275} = 5,581 \text{ мм}$$

Қалыңдығы бойынша теріс шекті ауытқуды ескере отырып МЕМСТ 19903-74 бойынша илемнің ең жақын жоғары көлеміне тең төртінші белдеудің қалыңдығын қабылдаймыз.

6,5 мм тең табақ қалыңдығы кезінде қабырғаның төртінші белдеуі қалыңдығының есеп мәні мынаны құрайды:

$$t_4^p = t + \delta \geq t_4^{tr} = 6,5 + (-0,5) = 6 \text{ мм} > 5,581 \text{ мм}$$

мұнда $t = 6,5$ мм – МЕМСТ 19903-74 бойынша илем қалыңдығының номиналды мәні;

$\delta = -0,5$ мм – МЕМСТ 19903-74 бойынша илем қалыңдығы бойынша шекті ауытқу;

Тексеру:

$$\gamma_F \rho_g H_{red,4} \left(\frac{r}{t_4^p} \right) = 1,2 \cdot 8,8 \cdot 10,2 \cdot \frac{14,25}{6} = 255,8 \text{ МПа} \leq f_{y,d,4} = 275 \text{ МПа}$$

6,5 мм тең табақ қалыңдығы кезінде төртінші белдеудің беріктігі қамтамасыз етілген.

3.5 5-белдеу

$H_{red,5}$ анықтау үшін ҚР ҚН EN 1993-4-2 11.22 және 11.23 шарттарының тексереміз.

$$\frac{H_{red,4}}{f_{y,d,4}} = \frac{10,5}{275} = 0,0382 > \frac{H_{red,5}}{f_{y,d,5}} = \frac{8,5}{275} = 0,0309$$

мұнда ($H_{red,4}$, $H_{red,5}$) қарастырылатын белдеулер үшін сұйықтықтың алдын ала берілген есеп биіктіктері ретінде резервуардағы сұйықтық құйылуының жоғарысынан қарастырылатын белдеудің төменіне дейінгі арақашықтық қабылданды (1-суретке ұқсас).

Нәтижесінде $H_{red,5} = H_5 - \Delta H = 8,5 - 0,3 = 8,2$ м

ҚР ҚН EN 1993-1-1 3.1. кестесі бойынша резервуардың екінші белдеуі үшін 40 мм дейінгі илем қалыңдығы кезінде $f_{y,5} = 275 \text{ Н/мм}^2$ және $f_{u,5} = 430 \text{ Н/мм}^2$ сипаттамаларымен S275 болатын аламыз.

Болат тұрақсыздығы шегінің жобалау мәні ҚР ҚН EN 1993-4-2 (11.1) формула бойынша анықталады:

$$f_{y,d,5} = f_{y,5} / \gamma_{M0} = \frac{275}{1,00} = 275 \text{ Н/мм}^2 = 275 \text{ МПа}$$

мұнда γ_{M0} – ҚР ҚН EN 1993-4-2 2.2 кестесі мен 2.9.2.2. тармағына сәйкес қабылданады;
 $\gamma_{M0} = 1,00$.

Бесінші белдеу үшін қабырғаның ең төменгі есеп қалыңдығы мынаны құрайды:

$$t_5^{tr} = \frac{\gamma_F \rho_g H_{red,5}}{f_{y,d,5}} = \frac{14,25 \cdot 1,2 \cdot 8,8 \cdot 8,2}{275} = 4,487 \text{ мм}$$

Қалыңдығы бойынша теріс шекті ауытқуды ескере отырып МЕМСТ 19903-74 бойынша илемнің ең жақын жоғары көлеміне тең бесінші белдеудің қалыңдығын қабылдаймыз.

5 мм тең табақ қалыңдығы кезінде қабырғаның бесінші белдеуі қалыңдығының есеп мәні мынаны құрайды:

$$t_5^p = t + \delta \geq t_5^{tr} = 5 + (-0,31) = 4,69 \text{ мм} > 4,487 \text{ мм}$$

мұнда $t = 5$ мм – МЕМСТ 19903-74 илем қалыңдығының номиналды мәні;

$\delta = -0,31$ мм – МЕМСТ 19903-74 бойынша илем қалыңдығы бойынша шекті ауытқу;

Тексеру:

$$\gamma_F \rho_g H_{red,5} \left(\frac{r}{t_p^5} \right) = 1,2 \cdot 8,8 \cdot 8,2 \cdot \frac{14,25}{4,69} = 263,1 \text{ МПа} \leq f_{yd,5} = 275 \text{ МПа}$$

5 мм тең табақ қалыңдығы кезінде бесінші белдеудің беріктігі қамтамасыз етілген.

3.6 6-белдеу

$H_{red,6}$ анықтау үшін ҚР ҚН EN 1993-4-2 (11.22) және (11.23) шарттарының формулаларын тексереміз.

$$\frac{H_{red,5}}{f_{yd,5}} = \frac{8,5}{275} = 0,0309 > \frac{H_{red,6}}{f_{yd,6}} = \frac{6,5}{275} = 0,0236$$

мұнда ($H_{red,5}$, $H_{red,6}$) қарастырылатын белдеулер үшін сұйықтықтың алдын ала берілген есеп биіктіктері ретінде резервуардағы сұйықтық құйылуының жоғарысынан қарастырылатын белдеудің төменіне дейінгі арақашықтық қабылданды (1-суретке ұқсас).

Нәтижесінде $H_{red,6} = H_6 - \Delta H = 6,5 - 0,3 = 6,2 \text{ м}$

ҚР ҚН EN 1993-1-1 3.1. кестесі бойынша резервуардың алтыншы белдеуі үшін 40 мм дейінгі илем қалыңдығы кезінде $f_{y,6} = 275 \text{ Н/мм}^2$ және $f_{u,6} = 430 \text{ Н/мм}^2$ сипаттамаларымен S275 болатын аламыз.

Болат тұрақсыздығы шегінің жобалау мәні ҚР ҚН EN 1993-4-2 (11.1) формула бойынша анықталады:

$$f_{yd,6} = f_{y,6} / \gamma_{M0} = \frac{275}{1,00} = 275 \text{ Н/мм}^2 = 275 \text{ МПа}$$

мұнда γ_{M0} – ҚР ҚН EN 1993-4-2 2.2 кестесі мен 2.9.2.2. тармағына сәйкес қабылданады; $\gamma_{M0} = 1,00$.

Алтыншы белдеу үшін қабырғаның ең төменгі есеп қалыңдығы мынаны құрайды:

$$t_6^{tr} = \frac{\gamma_F \rho_g H_{red,6}}{f_{yd,6}} = \frac{14,25 \cdot 1,2 \cdot 8,8 \cdot 6,2}{275} = 3,393 \text{ мм}$$

Қалыңдығы бойынша теріс шекті ауытқуды ескере отырып MEMST 19903-74 бойынша илемнің ең жақын жоғары көлеміне тең алтыншы белдеудің қалыңдығын қабылдаймыз.

Осы мысалда белдеудің барынша шекті қалыңдығы 5 мм қабылдаймыз. Нақты жобалау кезінде белдеудің ең төмен қалыңдығының мәні EN 1990, EN 1993 талаптары, сондай-ақ резервуарды жобалау үдерісінде пайдаланылатын сол сәтте қолданылатын басқа да нормативтік құжаттар негізінде анықталады.

5 мм тең табақ қалыңдығы кезінде қабырғаның алтыншы белдеуі қалыңдығының есеп мәні мынаны құрайды:

$$t_6^p = t + \delta \geq t_6^{tr} = 5 + (-0,31) = 4,69 \text{ мм} > 3,393 \text{ мм}$$

мұнда $t = 5 \text{ мм}$ – MEMST 19903-74 бойынша илем қалыңдығының номиналды мәні;

$\delta = -0,31 \text{ мм}$ – MEMST 19903-74 бойынша илем қалыңдығы бойынша шекті ауытқу;

Тексеру:

$$\gamma_F \rho_g H_{red,6} \left(\frac{r}{t_6^p} \right) = 1,2 \cdot 8,8 \cdot 6,2 \cdot \frac{14,25}{4,69} = 198,0 \text{ МПа} \leq f_{yd,6} = 275 \text{ МПа}$$

5 мм тең табақ қалыңдығы кезінде алтыншы белдеудің беріктігі қамтамасыз етілген

3.7 7-белдеу

$H_{red,7}$ анықтау үшін ҚР ҚН EN 1993-4-2 (11.22) және (11.23) шарттарының формулаларын тексереміз:

$$\frac{H_{red,6}}{f_{yd,6}} = \frac{6,5}{275} = 0,0236 > \frac{H_{red,7}}{f_{yd,7}} = \frac{4,5}{235} = 0,0191$$

мұнда ($H_{red,6}$, $H_{red,7}$) қарастырылатын белдеулер үшін сұйықтықтың алдын ала берілген есеп биіктіктері ретінде резервуардағы сұйықтық құйылуының жоғарысынан қарастырылатын белдеудің төменіне дейінгі арақашықтық қабылданды (1-суретке ұқсас).

Нәтижесінде $H_{red,7} = H_7 - \Delta H = 4,5 - 0,3 = 4,2$ м

ҚР ҚН EN 1993-1-1 3.1. кестесі бойынша резервуардың жетінші белдеуі үшін 40 мм дейінгі илем қалыңдығы кезінде $f_{y,7} = 235$ Н/мм² және $f_{u,7} = 360$ Н/мм² сипаттамаларымен S235 болатын аламыз.

Болат тұрақсыздығы шегінің жобалау мәні ҚР ҚН EN 1993-4-2 (11.1) формула бойынша анықталады:

$$f_{y,d,7} = f_{y,7} / \gamma_{M0} = \frac{235}{1,00} = 235 \text{ Н/мм}^2 = 235 \text{ МПа}$$

мұнда γ_{M0} – ҚР ҚН EN 1993-4-2 2.2 кестесі мен 2.9.2.2. тармағына сәйкес қабылданады; $\gamma_{M0} = 1,00$.

Жетінші белдеу үшін қабырғаның ең төменгі есеп қалыңдығы мынаны құрайды:

$$t_7^{tr} = \frac{\gamma_F \rho_g H_{red,7}}{f_{y,d,7}} = \frac{14,25 \cdot 1,2 \cdot 8,8 \cdot 4,2}{235} = 2,689 \text{ мм}$$

Қалыңдығы бойынша теріс шекті ауытқуды ескере отырып MEMСТ 19903-74 бойынша илемнің ең жақын жоғары көлеміне тең жетінші белдеудің қалыңдығын қабылдаймыз.

Осы мысалда белдеудің барынша шекті қалыңдығы 5 мм қабылдаймыз. Нақты жобалау кезінде белдеудің ең төмен қалыңдығының мәні EN 1990, EN 1993 талаптары, сондай-ақ резервуарды жобалау үдерісінде пайдаланылатын сол сәтте қолданылатын басқа да нормативтік құжаттар негізінде анықталады.

5 мм тең табақ қалыңдығы кезінде қабырғаның жетінші белдеуі қалыңдығының есеп мәні мынаны құрайды:

$$t_7^p = t + \delta \geq t_7^{tr} = 5 + (-0,31) = 4,69 \text{ мм} > 2,689 \text{ мм}$$

мұнда $t = 5$ мм – MEMСТ 19903-74 бойынша илем қалыңдығының номиналды мәні;
 $\delta = -0,31$ мм – MEMСТ 19903-74 бойынша илем қалыңдығы бойынша ауытқу шегі;

Тексеру:

$$\gamma_F \rho_g H_{red,7} \left(\frac{r}{t_7^p} \right) = 1,2 \cdot 8,8 \cdot 4,2 \cdot \frac{14,25}{4,69} = 134,8 \text{ МПа} \leq f_{y,d,7} = 235 \text{ МПа}$$

5 мм тең табақ қалыңдығы кезінде жетінші белдеудің беріктігі қамтамасыз етілген.

Сегізінші және тоғызыншы белдеудің жетінші белдеудегідей болаттан жасалғандығын, ал оларда қолданылатын гидростатикалық қысымның аз екендігін ескере отырып біз осы мысал үшін қабырғаның шартты шекті ең төменгі қалыңдығы ретінде 5 мм тең олардың қалыңдығын конструкциялы қабылдаймыз.

11.3.2 Қатандықтың сақина қабырғалары

11.3.2.1 Қаңқалы көтергіш құрылымды стационарлы төбесі болған жағдайда мұндай құрылым қабықша төбесінің кеңістік қатандығын қамтамасыз ететін ретінде қарастырылады. Бұл жағдайда қатандықтың сақина қабырғасының қабықша төбесінің деңгейінде орнатпауға болады.

11.3.2.2 Егер қабықша төбесі еркін (бекітілмеген) болған жағдайда қатандықтың сақина қабырғасын пайдалану міндетті, ол қабықшаның төбесіне барынша жақын – яғни, «басты сақина қабырғасы» (primary ring) деңгейінде тікелей орнатылуы тиіс.

ЕСКЕРТПЕ EN 1993-4-2 мәтінінде қатандықтың басты сақина қабырғасы (primary ring) басты (негізгі) жел фермасы (primary wind girder) ретінде белгіленуі мүмкін.

11.3.2.3 Егер мүмкін болатын тігінен жылжулардан қабықша сенімді бекітілген (анкерленген) болса, онда басты сақина қабырғасы ҚР ҚН EN 1993-4-1 12-14 тармақтарының нұсқауларына сәйкес беріктік пен тұрақтылық талаптарына сәйкестігіне есептелуі мүмкін.

11.3.2.4 Мүмкін болатын тігінен жылжулардан қабықша төмені жеткіліксіз бекітілген жағдайда ҚР ҚН EN 193-1-6 нұсқауларына сәйкес тұрақтылығына қосымша есепті орындау қажет.

14.3.2.5 Қабықша жоғарысынан 600 мм астам қашықтықта қатандықтың сақина қабырғасының орналасуы жағдайында қабықша төбесінің деңгейінде мынадай бұрыштардан сақина элементін орнату қажет:

- 60x60x5 – кемінде 6 мм жоғары белдеу қалыңдығы кезінде;
- 80x80x6 – 6 мм және одан жоғары болатын жоғары белдеу қалыңдығы кезінде.

Бұл ретте қабықша төбесіне дейінгі бұрыштың көлденең төбесінен арақашықтық екі жағдайда да 25 мм аспауы тиіс.

11.3.2.6 Тұрақты қабықшаны жергілікті жоғалтуды болдырмау үшін қатандықтың қосымша сақина қабырғаларын орнату қажеттілігі (Ескерту қатандықтың басты сақина қабырғасына қосымша) төменде берілген тәсілді пайдалана отырып пайдалана отырып анықталады. Тұрақтылықты жоғалтуы мүмкін қабықша учаскесінің биіктігі (қабықша төбесі немесе қатандықтың басты сақина қабырғасынан төменге қарай есептелетін) (11.24) формула бойынша анықталады:

$$H_E = \sum h \left(\frac{t_{\min}}{t} \right)^{2,5} \quad (11.24)$$

мұнда h – әрбір белдеудің биіктігі бұрыштың әрбір элементі (қабықша төбесінің деңгейінде) немесе қатандықтың басты сақина қабырғасы деңгейінен кезек-кезегімен төмен;

t – қабырғаның әрбір белдеуінің қалыңдығы кезек-кезегімен;

$t_{\min}$ – біршама жұқа белдеу қалыңдығы.

11.3.2.7 Қатандықтың қосымша сақина қабырғаларын орнатпастан қабырға тұрақтылығы қамтамасыз етілген қабырға биіктігі (11.25) формуласы бойынша анықталады:

$$H_P = 0,46 \left(\frac{E}{p_{Ed}} \right) \left(\frac{t_{\min}}{r} \right)^{2,5} rK \quad (11.25)$$

мұнда

– егер $\sigma_{x,Ed}$ меридиональды кернеу оң (созылушы)

$$K = 1 \quad (11.26)$$

– если $\sigma_{x,Ed}$ меридиональды кернеу теріс «қысушы»

$$K = \left\{ 1 - \left[2,67 \left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{E} \right) \left(\frac{r}{t} \right) \left(1 + \frac{1}{54} \left(\frac{r}{t} \right)^{0,72} \right)^{1,25} \right]^{0,8} \right\} \quad (11.27)$$

p_{Ed} – қабықшаға ішкі қысымның барынша жоғары жобалық мәні (ішке бағытталған) ішкі қысым);

(r/t) – қатынас $\sigma_{x,Ed}$ мембранды кернеудің қысушы осінің жобалау мәні учаскесінде алынған.

ЕСКЕРТПЕ Жоғарыда берілген 11.24 - 11.27 формулалар кейде (әсіресе жоғары емес белдеулерде) қорға нәтижелер беруі мүмкін. Бұл жағдайда біршама үнемді нәтижені алу үшін ҚР ҚН EN 1993-1-6 нұсқаулары пайдаланылуы мүмкін.

11.3.2.8 Тұрақтылыққа қабырғаны есептеу кезінде $q_{w,Ed}$ на цилиндрге $q_{w,Ed}$ жел жүктемесінің біркелкі емес қосымшасы (11.5 суретті қараңыз) (11.28) формула бойынша анықталатын баламалы біркелкі бөлінген жүктемемен алмастырылуы мүмкін:

$$q_{eq,Ed} = k_w \cdot q_{w,max,Ed} \quad (11.28)$$

мұнда $q_{w,max,Ed}$ – барынша жоғары жел қысымы;
 k_w – (11.29) формула бойынша анықталады:

$$k_w = 1/C_w \quad (11.29)$$

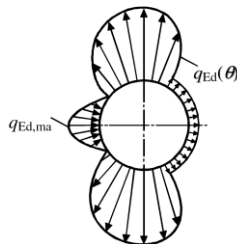
мұнда C_w – ҚР ҚН EN 1993-4-1 5.3.2.5.8 тармағаны сәйкес қабылданады.

11.3.2.9 11.25 формуласында пайдаланылатын p_{Ed} қысым мәні осы құралдың 11. 30 формуласы бойынша анықталады:

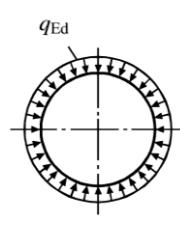
$$p_{Ed} = q_{eq,Ed} + q_{s,Ed} \quad (11.30)$$

мұнда $q_{s,Ed}$ – ішкі ішінара немесе басқа құбылыстармен, желдетумен туындаған ішке бағытталған қысым.

а)



б)



а) қабықша айналасы бойынша жел жүктемесін бөлу;

б) эквивалентное распределение осесимметричной қысымның таралуына баламалы

11.5 Сурет – Сыртқы жел жүктемесінің қайта өзгеруі

11.3.2.10 Егер меридиональды кернеу қысушы болып табылса, онда осы құралдың 11.3.2.7 тармағында сипатталған қысушыны 11.31 және 14.32 формуласының екі жағдайы да орындалатын жағдайды қоспағанда пайдаланбауға болады:

$$\frac{r}{t} \geq 200 \quad 11.31$$

$$f_y \geq 1,15E \left(\frac{r}{l}\right) \left(\frac{t}{r}\right)^{1,5} \quad (11.32)$$

мұнда l – тұрақтылықты жоғалтуы мүмкін қабырға учаскесінің биіктігі; қатандықтың іргелес қабырғаларының арақашықтығы немесе H_E мәнінен аз арақашықтыққа тең деп қабылданады.

11.3.2.11 Егер $H_E \leq H_P$ қосымша сақина қабырғаларын пайдалану қажеттілігі болмаса.

11.3.2.12 Егер $H_E > H_P$, онда H_E биіктік қабырға тұрақтылығын жоғалтуды болдырмау үшін қатандықтың сақина қабырғаларына бөлінуі тиіс. Қатандық қабырғалары арасындағы қашықтық H_P мәнінен аспауы тиіс.

H_P анықтау үшін (11.25) формуласында пайдаланылатын K мәнін қатандықтың сақина қабырғалары бойынша қабырғаның әрбір учаскесі үшін бөлек анықтауға болады. Бұл жағдайда іргелес сақина қабырғалары арасындағы арақашықтық әртүрлі болуы мүмкін.

11.3.2.13 Егер қатандықтың төменгі сақина қабырғасы бекітілетін белдеу қалыңдығы t_{min} ең төменгі шекті қалыңдықтан артық болса, онда жоғары тіректі сақина немесе басты сақиналы қатандықтан төменгі сақина орнатылуы тиіс $H_{lower,adj}$ арақашықтықты (11.33) формуласы бойынша анықтау қажет:

$$H_{lower,adj} = H_{tmin} + (H_{lower} - H_{tmin}) \left(\frac{t}{t_{min}}\right)^{2,5} \quad (11.33)$$

мұнда H_{lower} – бұрыштан сақина элементі (қабықша төбесінің деңгейінде) немесе қатандықтың басты сақина қабырғасынан қатандықтың қарастырылатын екінші дәрежелі қабырғасына дейінгі арақашықтық;

H_{tmin} – бұрыштан сақина элементі (қабықша төбесінің деңгейінде) немесе қатандықтың басты сақина қабырғасынан t_{min} ең төменгі шекті қалыңдықпен белдеудің төменгі жиегіне дейін.

11.3.2.14 Қатандықтың қосымша сақина қабырғалары мен сақина жіктері (белдеу жапсарлары) арасындағы арақашықтық кемінде 150 мм болуы тиіс.

11.3.2.15 Оңайлатылған жобалау тәсілі кезінде (ҚР ҚН EN 1993-1-6 нұсқауларына сәйкесбіршама толық емес есеп пайдаланылмайды) қатандықтың екінші дәрежелі сақина қабырғаларының қатандығы (11.34) формуласының шарттарына жауап беруі тиіс:

$$I_{R,j} \geq 2 \frac{N_{Rj,Ed} \cdot r^2}{E \cdot m_B^2} \quad (11.34)$$

мұнда

$$N_{Rj,Ed} = \frac{p_{j,Ed} r (a_{j+1} + a_j)}{2} \quad (11.35)$$

$$m_B^* = 1,79 \left\{ \frac{r}{H \left[\frac{r^2 \min(a_j t_j)}{\max(I_{R,j})} \right]^{1/4}} \right\}^{1/2} \quad (11.36)$$

m_B – тұтас санға дейін аз жағына қарай m_B^* дөңгелектеу нәтижесіне тең деп қабылданады;

$I_{R,j} - j$ – го қатандықтың екінші дәрежелі сақина қимасынан инерция сәті;

$\max(I_{R,j})$ – қатандықтың барлық екінші дәрежелі сақина қабырғаларынан $I_{R,j}$ барынша жоғары мән;

H – қатандықтың жоғары сақина қабырғасы немесе карнизді түйіннен түбіне дейінгі биіктік;

$a_j - j$ – го қатандықтың екінші дәрежелі сақина қабырғасынан кейінгі төменде орналасқан екінші дәрежелі қатандықтың сақина қабырғасына дейін немесе резервуар түбіне дейін (қатандықтың екінші дәрежелі сақина қабырғаларынан төмен орналасқан жағдайда) арақашықты;

$a_{j+1} - j$ – го қатандықтың екінші дәрежелі сақина қабырғасынан кейінгі жоғарыда орналасқан екінші дәрежелі қатандықтың сақина қабырғасына дейін немесе қатандықтың басты сақина қабырғасына немесе қабықшаның жоғары деңгейінде тіректі сақина элементіне дейін (қатандықтың жоғары орналасқан екінші дәрежелі сақина қабырғаларына дейін) арақашықты;

$t_j - a_j$ арақашықтыққа қабырға қалыңдығының орташа мәні;

$\min(a_j t_j)$ – $a_j t_j$ барынша аз мәні H биіктігі бойымен;

r – қабырғасының радиусы;

$p_{j,Ed} - j$ – го қатандықтың екінші дәрежелі қабырғасы деңгейінде теріс жобалау қысымы.

11.3.3 Тесіктер және ойықтар

Тесіктер және арматура осы құралдың 5.4.6 тармағына сәйкес жобалануы тиіс.

11.4 Түбін жобалау

11.4.1 Түбін жобалау кезінде пайдалану үрдісіндегі коррозиялық тозудың болуын ескеру қажет.

11.4.2 Түбінің элементтерінің түйісуі аралық немесе осіне қарай орындалуы тиіс. Дәнекерлеу қоспаларының тиісті жік біріктірулерінің түрлеріне қойылатын талаптар EN 14015 және EN 14620 берілген.

11.4.3 Түбінің табақ қалыңдығы осы құралдың 11.1 кестесінде көрсетілгеннен кем қабылданбауы тиіс (11.1 кестедегі мән коррозиялы тозуды ескерместен берілуі тиіс). Түбінің табақтарының қалыңдығының жоғары мәні егер нақты құрылымда түбін жүктеу кезінде ең төменгі кепілді сұйықтықтың қалдық деңгейі пайдаланылмайды.

11.4.4 Резервуар түбіне тіреу кезінде түбінің параллель арқалықтарына (көтерілген түбі) тірелу кезінде түбін шағын деформациялар теориясына сәйкес кесілмейтін арқалық ретінде есептеуге болады. Егер көлденең жүктеме әсірінің салдарынан арқалықтарды ұстайтын көлденең қима деформацияларын осы деформациялардың шағындылығы салдарынан сақталмаса (бұл бетон арқалық, тұйық бейіндер, ауыр сөрелі арқалықтар үшін

әділ), онда ұстаушық арқалық осьтеріндегі арақашықтық емес, есепте жарыққа тең арақашықтықта арқалықтар арасында түптің ойығы (яғни, арқалық сөрелері арасындағы арақашықтық) қабылдауға рұқсат етіледі.

11.1 Кесте – Түп парақтарының ең төменгі номиналды қалыңдығы

Материал	Айқас салынған жіктер кезінде	Жікті дәнекерлеу тігістері кезінде
Көміртекті болат	6 мм	5 мм
Тот баспайтын болат	5 мм	3 мм

11.4.5 Диаметрі 12,5 м асатын диаметрлі резервуарлар үшін резервуар қабырғасының төменгі белдеуінен беріктік пен қатаңдығы тұрғысынан салыстырылатын доңғалақты пластина түрінде тіректі сақинаның болуын қарастыру қажет. Тіректі сақинаның қалыңдығы (коррозиялы тозуға рұқсатты ескерместен) (11.37) формуласы бойынша анықталады:

$$t_a = \frac{t_s}{3} + 3 \text{ мм, но не менее 6 мм} \quad (11.37)$$

мұнда t_s – қабырғаның төменгі белдеуінің қалыңдығы.

1 ЕСКЕРТПЕ Осы тіректі сақинаны орнату тіректі сақина жапсары орнында пластикалық топсаны және түбінің негізгі металын қалыптастыруға әкеледі, бұл түйінде пластикалық топсаны дамытуды болдырмауы мүмкін. Бірақ, қалған түбіне қатысты тіректі сақинаның кеңейтілген қалыңдығы түйісу орнында сұйықтықтың тұрып қалуына әкелуі мүмкін, бұл жоғары коррозиялы тозудың әлеуетті ошағын жасауы мүмкін.

2 ЕСКЕРТПЕ Түбінде жергілікті жүктемелер болған жағдайда осы жүктемелерді негізге бөлу (беру) мүмкіндігін қарастыру қажет.

14.4.6 Тіректі сақинаның ішкі шеті w_a мәнінен аспай қабылданатын w арақашықтықта қабырғадан алшақтатылуы тиіс, бірақ 500 мм аспайды:

$$w_a = 1,5 \left[\frac{f_y t_a^2}{\rho g H} \right]^{1/2} \quad (14.38)$$

мұнда H – сұйықтықтың құйылуының барынша жоғары жобалау деңгейі;

w_a – түбінің теректі сақинасының ең төменгі ені (тіректі сақинаның ішкі өабықшасынан қабырғаның ішкі үстіңгі қабатына дейінгі арақашықтық);

t_a – коррозияға рұқсатты ескере отырып тіректі сақинаның қабылданған қалыңдығы;

ρ – сақталатын сұйықтық тығыздығы.

g – еркін құлдырауды жылдамдату.

11.4.7 Сақина пластиналарын бекітудің радиалды жапсар жіктері сәйкес EN 14015 және EN 14620 толық дәнекермен жапсарлас орындалуы тиіс.

11.4.8 Қабырғаның сыртқы шетінен түп табағының сыртқы шетіне немесе тіректі түпке дейінгі арақашықтық кемінде 50 мм болуы тиіс.

11.4.9 Қабырғаның төменгі белдеуі мен түбінің (түйіні) жапсары қабырғаның екі жағынан да дәнекерлеудің үздіксіз бұрыш жіктерімен орындалуы тиіс.

11.4.10 Түйіннің әрбір дәнекерлеу жігінің катеті түбінің элемент қабырғаларына қабысатын қалыңдыққа тең, бірақ 10 мм аспайтын етіп қабылдануы тиіс. Егер қабырғаның төменгі белдеуінің қалыңдығы түптің тиісті элементтерінің қалыңдығынан аз болса, дәнекерлеу жігінің катеті 11.2 кестеде көрсетілген мәннен аспауы тиіс.

**11.2 Кесте – Түйіннің дәнекерлеу жігінің катет көлемі
(түбінің қалыңдығына қарағанда аз қабырға қалыңдығы кезінде)**

Қабырғаның төменгі белдеуінің қалыңдығы, мм	Дәнекерлеу жігінің катеті, мм
$t < 5 \text{ мм}$	2,0
$t = 5 \text{ мм}$	4,5
$t > 5 \text{ мм}$	6,0

5 МЫСАЛ Параллель тіректерге дискретті тірелу кезіндегі түбін есептеу

1 Бастапқы деректер

Сақталатын сұйықтық түрі – бензол.

Үлесті салмақ – $\rho = 8,8 \text{ кН/м}^3$ (А.10 Кестесі А қосымшасы ҚР ҚН EN 1991-1-1).

Жобалау құйылу деңгейі – $H_n = 7,8 \text{ м}$.

Резервуарлардың сұлбасы 1 және 2-суреттерде берілген.

2 Статикалық есеп

Резервуар түбі арқалыққа параллель орналасқан арқалық клеткасына тіреледі. Түбін есептеу кезінде арқалық жаюға көлденең түбінен шартты ойылған 1 см ең жолағы ретінде қарастыруға болады (1,2 суреттерді қараңыз). Түбінің осындай жолағының есеп сұлбасы бөлінбеген арқалық түріне ие (ҚР ҚН EN 1993-4-2 11.4.4 тармағын қараңыз), оның аралық тіректері болып арқалық клеткаларынан төмен орналасқан арқалықтар табылады (3-суретті қараңыз).

Мысалда шеткі арқалықтың қадамы 750 мм, орташа 1000 мм құрайды. Кесілмеген жолақтың көп аралық есеп аралықтарын ҚР ҚН EN 1993-4-2 11.4.4 тармағына сәйкес осьтерде арқалықтарға бірдей арақашықтықта қабылдаймыз.

ҚР ҚН EN 1991-4 7-бөлімнің нұсқауларына сәйкес бензолдың гидростатикалық әсерінен ойылған жолақтың ұзына бойы ұзындығынан есеп жүктемесін анықтаймыз:

$$q = \rho \cdot H_n \cdot b = 8,8 \cdot 7,8 \cdot 0,01 = 0,6864 \frac{\text{кН}}{\text{м}} = 6,864 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кН}}{\text{см}}$$

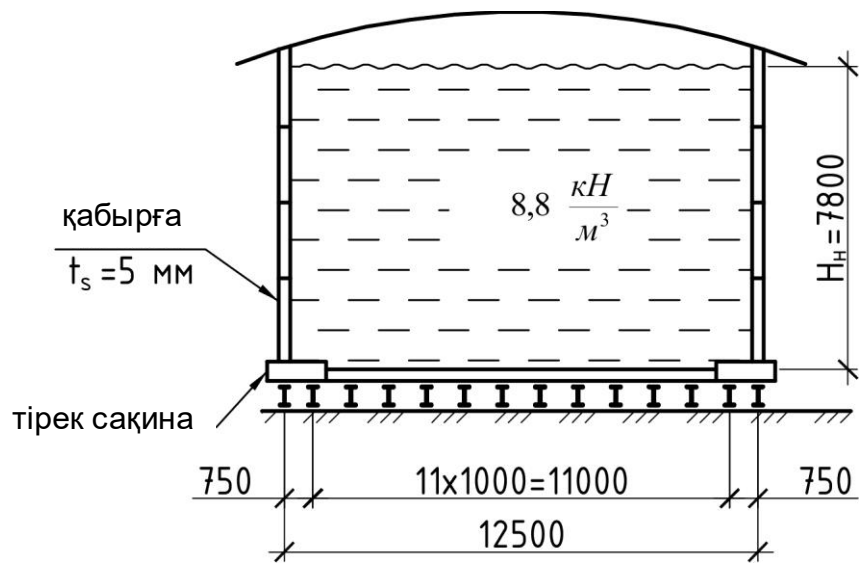
мұнда $\rho = 8,8 \text{ кН/м}^3$ – резервуарда сақталған бензолдың үлесті салмағы;

$H_n = 7,8 \text{ м}$ – құйылудың жобалау деңгейі;

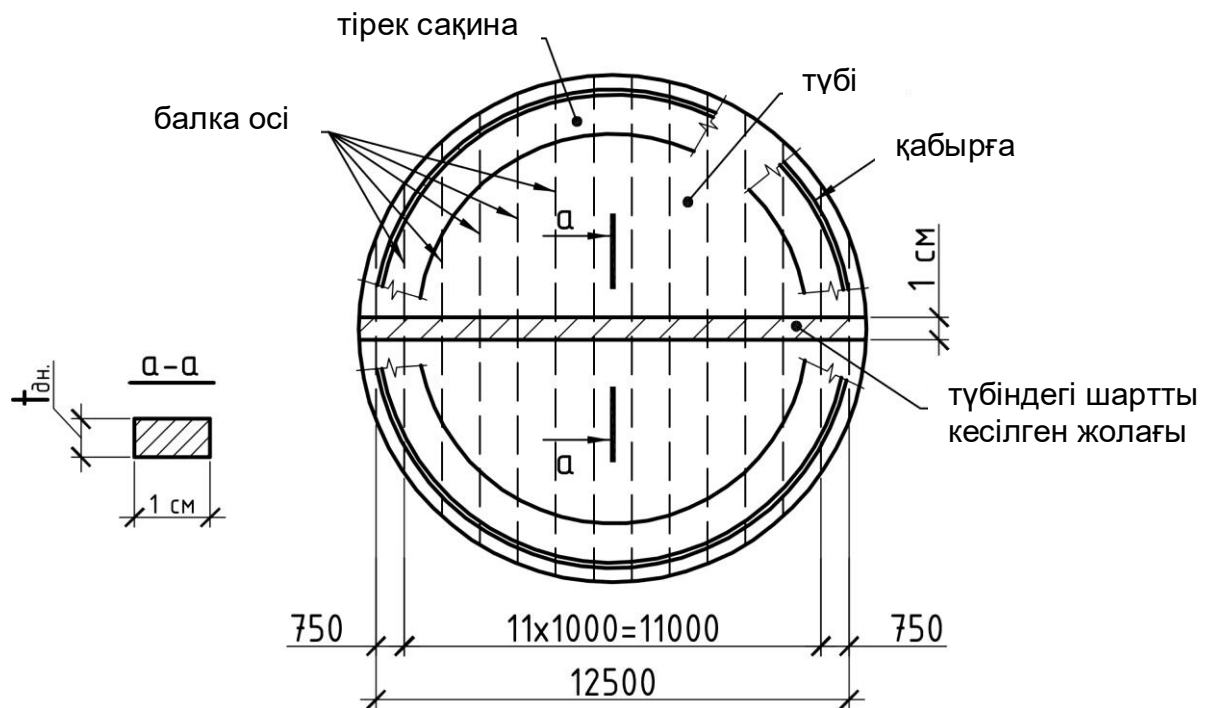
$b = 1 \text{ см}$ – түбінің шартты кесілген жолағының ені (жүк ауданының ені).

Кесілмейтін арқалықтың осы көп арқалықты құрылымының есебі үшін құрылыс механикасының мынадай әдістерін пайдалануға болады:

- а) күштер әдісі;
- б) жылжулар әдісі;
- в) түпкілікті элементтер әдісі (алынатын нәтижелердің растығын қамтамасыз ететін бағдарламалық кешендерде іске асырылған);
- г) күштер әдісінің жиі жағдайы ретінде «үш сәт» әдісі.

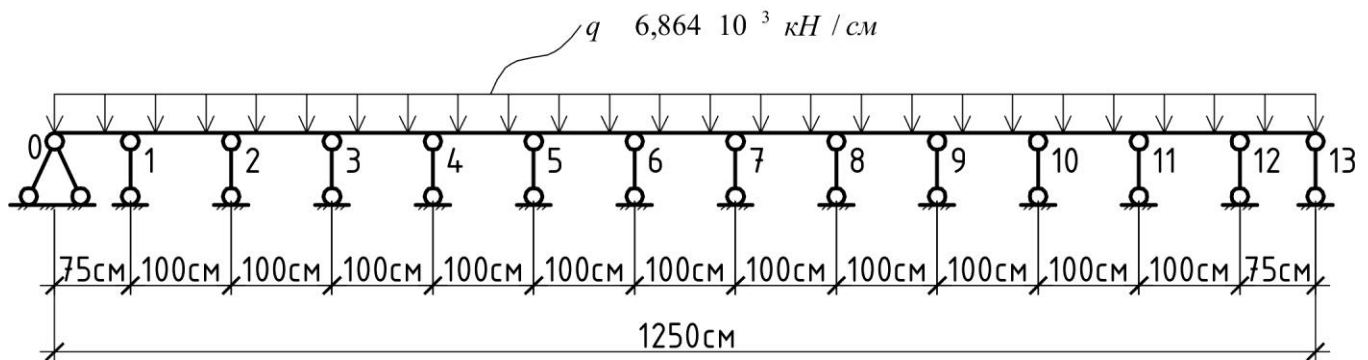


1 Сурет – Резервуар сұлбасы



2 Сурет – Түбінің жоспары

Осы мысалда тапсырмаларды шешу кезінде үш сәттің әдістері пайдаланылады. Түбінің бастапқы есеп сұлбасы 3-суретте берілген.



3 Сурет – Түбінің шартты ойылған жолағының бастапқы есеп сұлбасы

Кесілмейтін арқалықтың статикалық анықталмайтын дәрежесін анықтаймыз:

$$\eta = C_{\text{оп}} - 3 = 15 - 3 = 12$$

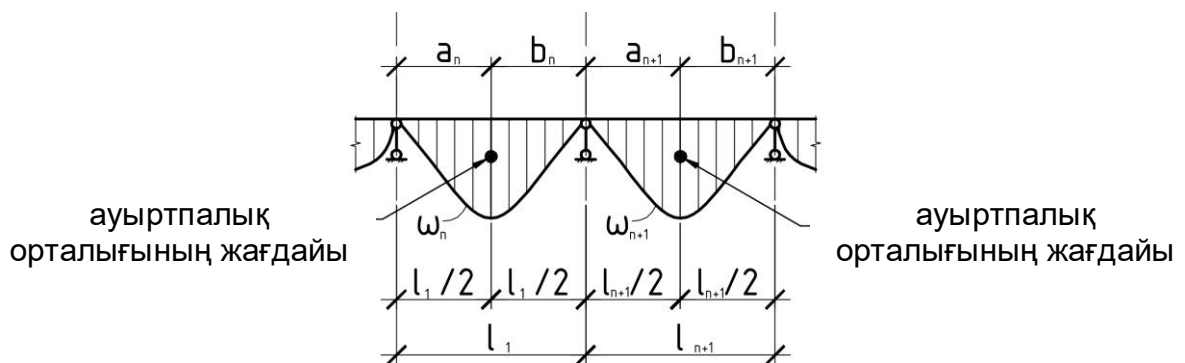
мұнда $C_{\text{оп}} = 2 + 13 \cdot 1 = 15$ – жүйенің тіректі реакциясының саны.

Нәтижесінде, арқалықтың статикалық анықталмауын ашу үшін күштер әдісінің он екі теңдеуін жасау қажет. Бірақ, арқалықтың есеп сұлбасы мен оған қоса берілген жүктеме арқалық ортасына қатысты симметриялы болып табылады, арқалықтың жартысын қарастырамыз. Онда теңдеулердің барлығының жартысын, яғни, 6 қалдырамыз. Түптің түпкілікті есеп сұлбасы 5-суретте берілген.

Ерікті тірек үшін n үш сәттің теңдеуі мынадай түрге ие:

$$M_{n-1} \cdot l_n + 2M_n(l_n + l_{n+1}) + M_{n+1}l_{n+1} = -6 \left(\frac{\omega_n a_n}{l_n} + \frac{\omega_{n+1} b_{n+1}}{l_{n+1}} \right)$$

мұнда ω_n, a_n, b_n – жүк эпюрасының ауданы және оның ауыртпалық орталығынан тиісінше сол жақ пен оң жақ тірекке дейінгі арақашықтық (4-суретті қараңыз).



4-сурет – Үш сәттің теңдеулерінің оң жақ бөлігін есептеуге.

Тапсырманы шешу үшін нөлден бастап солдан оңға қарай кесілмейтін арқалықтың тірегі мен аралықтарды нөмірлейміз.

Біздің жағдайымызда $M_0 = 0$, сәті белгілі болып табылады, белгісіз болып $M_1, M_2, M_3, M_4, M_5, M_6$. сәттер табылады. Есеп сұлбасы мен арқалыққа қосымша жүктеме симметриялы, ал қалған сәттер айнадай біркелкі деректер болады.

Үш сәттің теңдеулер жүйесі арқылы белгісіз сәттерді анықтаймыз.

$$\begin{cases} M_0 \cdot l_1 + 2 \cdot M_1(l_1 + l_2) + M_2 \cdot l_2 = -6 \left(\frac{\omega_1 a_1}{l_1} + \frac{\omega_2 b_2}{l_2} \right) \\ M_1 \cdot l_2 + 2 \cdot M_2(l_2 + l_3) + M_3 \cdot l_3 = -6 \left(\frac{\omega_2 a_2}{l_2} + \frac{\omega_3 b_3}{l_3} \right) \\ M_2 \cdot l_3 + 2 \cdot M_3(l_3 + l_4) + M_4 \cdot l_4 = -6 \left(\frac{\omega_3 a_3}{l_3} + \frac{\omega_4 b_4}{l_4} \right) \\ M_3 \cdot l_4 + 2 \cdot M_4(l_4 + l_5) + M_5 \cdot l_5 = -6 \left(\frac{\omega_4 a_4}{l_4} + \frac{\omega_5 b_5}{l_5} \right) \\ M_4 \cdot l_5 + 2 \cdot M_5(l_5 + l_6) + M_6 \cdot l_6 = -6 \left(\frac{\omega_5 a_5}{l_5} + \frac{\omega_6 b_6}{l_6} \right) \\ M_5 \cdot l_6 + 2 \cdot M_6(l_6 + l_7) + M_7 \cdot l_7 = -6 \left(\frac{\omega_6 a_6}{l_6} + \frac{\omega_7 b_7}{l_7} \right) \end{cases}$$

Арқалықтың есеп сұлбасы мен жүктемесі симметриялы екендігін ескере отырып онда $M_6 = M_7$. Осыдан 6 тірек үшін үш сәттің теңдейі мынадай түрге ие болады:

$$M_5 \cdot l_6 + M_6(2 \cdot l_6 + 3 \cdot l_7) = -6 \left(\frac{\omega_6 a_6}{l_6} + \frac{\omega_7 b_7}{l_7} \right)$$

Жүйе теңдеулерінің оң жақ бөліктерін есептеу үшін M_p жүк эпюрасын жасаймыз (5-суретті қараңыз). M_p жүк эпюрасы аудандарының ауыртпалық орталықтары тиісті аралықтардың ортасында болады. Онда:

$$\begin{aligned} \omega_1 a_1 &= \frac{q \cdot l_1^3}{12} \cdot \frac{l_1}{2} = \frac{6,864 \cdot 10^{-3} \cdot 75^3}{12} \cdot \frac{75}{2} = 9049,22 \\ \omega_2 b_2 &= \frac{q \cdot l_2^3}{12} \cdot \frac{l_2}{2} = \frac{6,864 \cdot 10^{-3} \cdot 100^3}{12} \cdot \frac{100}{2} = 28600 \end{aligned}$$

Келесі учаскелер үшін тірек пен жүктеме қадамдарының тұрақты болып табылатындығын ескере отырып, онда:

$$\begin{aligned} \omega_2 \cdot a_2 = \omega_3 \cdot b_3 = \omega_3 \cdot a_3 = \omega_4 \cdot b_4 = \omega_4 \cdot a_4 = \omega_5 \cdot b_5 = \omega_5 \cdot a_5 = \omega_6 \cdot b_6 = \omega_6 \cdot a_6 = \omega_7 \cdot b_7 = \\ = \frac{q \cdot l_2^3}{12} \cdot \frac{l_2}{2} = \frac{6,864 \cdot 10^{-3} \cdot 100^3}{12} \cdot \frac{100}{2} = 28600 \end{aligned}$$

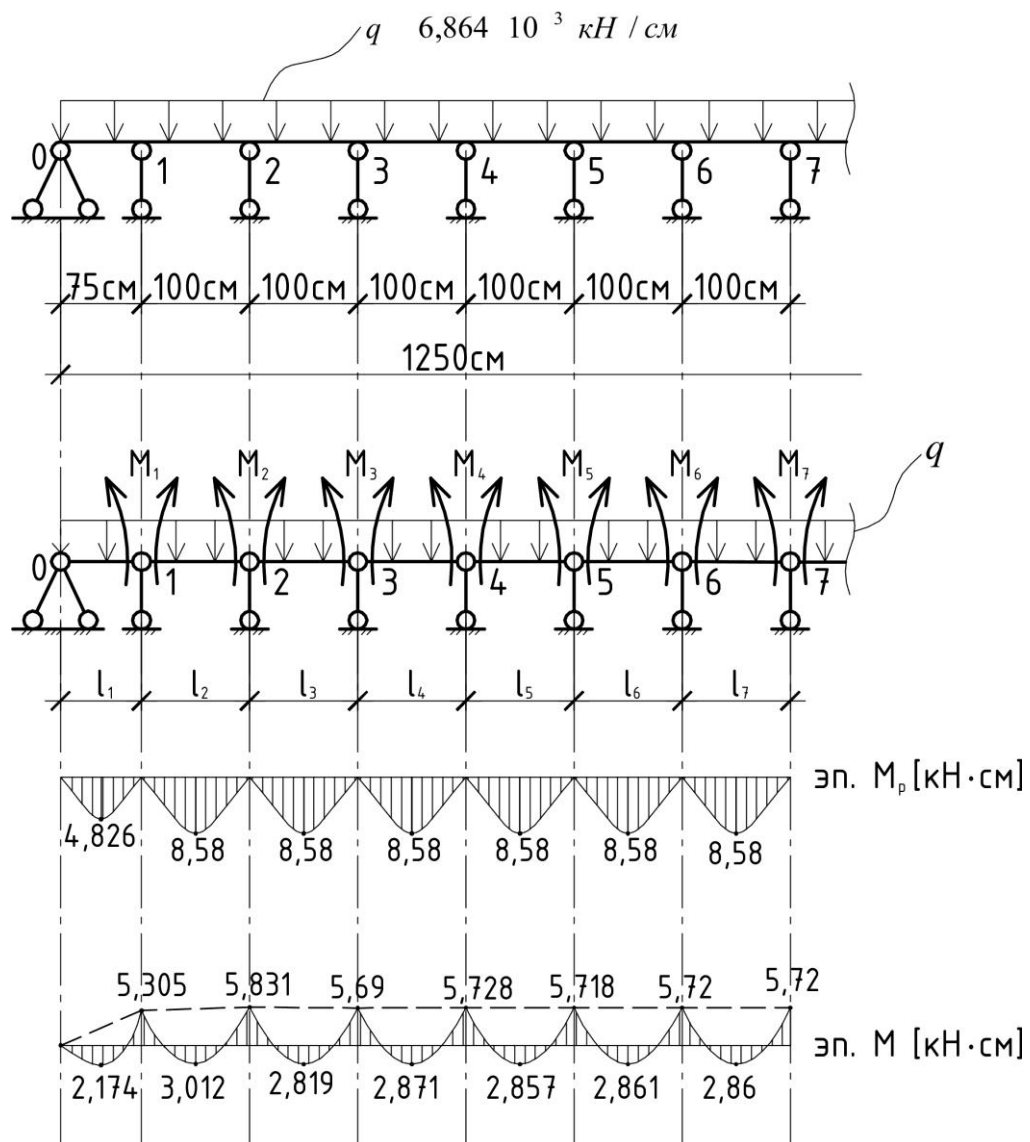
Теңдеулер жүйесіне анықталған мәнді қоя отырып мынаны аламыз:

$$\begin{cases} 350 \cdot M_1 + 100 \cdot M_2 = -2439,94 \\ 100 \cdot M_1 + 400 \cdot M_2 + 100 \cdot M_3 = -3432 \\ 100 \cdot M_2 + 400 \cdot M_3 + 100 \cdot M_4 = -3432 \\ 100 \cdot M_3 + 400 \cdot M_4 + 100 \cdot M_5 = -3432 \\ 100 \cdot M_4 + 400 \cdot M_5 + 100 \cdot M_6 = -3432 \\ 100 \cdot M_5 + 500 \cdot M_6 = -3432 \end{cases}$$

Осы жүйені шеше отырып, мынаны аламыз:

$$\begin{aligned} M_1 &= 5,305 \text{ кН} \cdot \text{см}; M_2 = 5,831 \text{ кН} \cdot \text{см}; M_3 = 5,69 \text{ кН} \cdot \text{см}; \\ M_4 &= 5,728 \text{ кН} \cdot \text{см}; M_5 = 5,718 \text{ кН} \cdot \text{см}; M_6 = 5,72 \text{ кН} \cdot \text{см}; \end{aligned}$$

Тіректі сәттердің эпюрасын жасай отырып (5 суретте Пунктирмен көрсетілген) және оны жүктемемен алгебралы қоса отырып, $M = M_p + M_{оп}$ сәттердің түпкілікті эпюрасын аламыз (5-суретті қараңыз).



5 Сурет – Резервуар түбіндегі иілім сәттері

3 Түбінің құрылым элементтерінің қималарын іріктеу

Иілім элементі ретінде түбінің қажетті ең төменгі қалыңдығы ҚР ҚН EN 1993-1-1 6.12 формуласы бойынша беріктік шартынан жүргізіледі:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1,0$$

мұнда $M_{Ed} = M_2 = 5,831 \text{ кН} \cdot \text{см}$ – статикалық есептен ең жоғары есеп сәті;

$M_{c,Rd}$ – қабылданған көлденең қима класына байланысты ҚР ҚН EN 1993-1-1 6.13-6.15 формулалары бойынша анықталатын көлденең қиманың басты осьтерінің біріне қатысты иілу кезіндегі есептік көтергіш қабілет.

Көлденең қима класы ҚР ҚН EN 1993-1-1 5.5.2 тармағының нұсқауларына сәйкес анықталады. 3-мысалда көлденең қиманы аламыз, ол үшін есеп көтергі қабілеті $M_{c,Rd}$ иілу кезінде ҚР ҚН EN 1993-1-1 (6.14) формуласы бойынша анықталады:

$$M_{c,Rd} = M_{el,Rd} = \frac{W_{el,min} f_y}{\gamma_{M0}}$$

мұнда $W_{el,min}$ – серпімділік шегінен аспайтын барынша жоғары кернеу үшін қиманың кедергі сәті;

f_y – болат тұрақсыздығы шегінің сипаттамалық мәні;

γ_{M0} – сенімділіктің жеке коэффициенті ҚР ҚН EN 1993-4-2 2.9.2.2. тармағына сәйкес қабылданады; $\gamma_{M0} = 1,00$.

ҚР ҚН EN 1993-1-1 3.1 кесте бойынша резервуар үшін 40 мм дейінгі илем қалыңдығы кезінде $f_y = 235 \text{ Н/мм}^2$ және $f_u = 360 \text{ Н/мм}^2$ сипаттамаларымен S235 болатты қабылдаймыз.

Шекті жай-күй шартынан талап етілетін кедергі сәтін анықтаймыз, мұнда, $M_{c,Rd} = M_{Ed}$:

$$W_{el,min}^{tr} = \frac{M_{c,Rd} \cdot \gamma_{M0}}{f_y} = \frac{M_{Ed} \cdot \gamma_{M0}}{f_y}$$

Тік бұрышты қима үшін төмендегіні ескере отырып

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{b \cdot t_{dn}^2}{6}$$

мұнда t_{dn} – түбінің қалыңдығы;

$b = 1 \text{ см}$ – түбінің шартты ені ойылған жолағының (қарастырылатын қиманың ені);

Мынаны аламыз:

$$t_{dn}^{tr} = \sqrt{\frac{6 \cdot M_{Ed} \cdot \gamma_{M0}}{b \cdot f_y}} = \sqrt{\frac{6 \cdot 5,831 \cdot 1,0}{1 \cdot 235}} = 1,22 \text{ см} = 12,2 \text{ мм};$$

Қалыңдық бойынша теріс шекті ауытқуды ескере отырып МЕМСТ 19903-74 бойынша жақын үлкен қалыңдыққа тең түп қалыңдығын қабылдаймыз.

Онда 13,5 мм тең табақ қалыңдығы кезінде түп қалыңдығының есеп мәні мынаны құрайды:

$$t_{dn}^p = t + \delta \geq t_{dn}^{tr} = 13,5 + (-0,8) = 12,7 \text{ мм} > 12,2 \text{ мм}$$

мұнда $t = 13,5 \text{ мм}$ – МЕМСТ 19903-74 бойынша илем қалыңдығының номиналды мәні;

$\delta = -0,8 \text{ мм}$ – МЕМСТ 19903-74 бойынша илем қалыңдығы бойынша шекті ауытқу;

ҚР ҚН EN 1993-1-1 (6.12) формула бойынша беріктік бойынша тексеруді орындаймыз

$$W_{el,min} = \frac{b \cdot t_{dn}^2}{6} = \frac{1 \cdot 1,35^2}{6} = 0,3038 \text{ см}^3$$

$$M_{c,Rd} = M_{el,Rd} = \frac{W_{el,min} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,3038 \cdot 235}{1} = 71,393 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2} = 7,14 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{5,831}{7,14} = 0,8167 < 1,0$$

13,5 мм тең табақ қалыңдығы кезінде түбінің беріктігі қамтамасыз етілген.

Түбінің ең төменгі шекті қалыңдығы (көміртекті болаттан орындау кезінде және айқаса салынған дәнекерлеу жіктерінде) ҚР ҚН EN 1993-4-2 11.1 кестесіне сәйкес 6 мм құрайтындығын ескере отырып $t_{dn} = 13,5 \text{ мм}$ тең түптің қалыңдығын түпкілікті қабылдаймыз.

Коррозиялы тозуға айтылған рұқсаттардың болуы кезінде осы рұқсаттардың мәндерін түп тақтасының түпкілікті қалыңдығын анықтау кезінде ескеру қажет. Осы мысалда түп қалыңдығын анықтау кезінде коррозиялы тозу әсері ескерілген жоқ.

Резервуар диаметрі 12,5 құрайтындығын ескере отырып, тіректі сақинаның болуын қарастыру қажет. ҚР ҚН EN 1993-4-2 11.37 шартынан тіректі сақинаның қалыңдығын анықтаймыз:

$$t_a \geq \begin{cases} \frac{t_s}{3} + 3 \text{ мм} = \frac{5}{3} + 3 = 4,7 \text{ мм} \\ 6 \text{ мм} \end{cases}$$

мұнда $t_s = 5$ мм – қабырғаның төменгі белдеуінің қалыңдығы;
6 мм тіректі сақина қалыңдығын қабылдаймыз.

Тіректі сақинаның ені ҚР ҚН EN 1993-4-2 11.4.6 және 11.4.8 тармақтарының нұсқауларына сәйкес анықталады.

Қабырғаның ішкі қабатынан тіректі сақинаның ішкі қырына дейінгі арақашықтыққа тең ω тіректі сақинаның ішкі бөлігінің ені 11.38 формулас бойынша ҚР ҚН EN 1993-4-2 11.4.6 тармағына сәйкес анықталады:

$$\gamma = \begin{cases} \sum \langle \sum w_a = 1,5 \cdot \left[\frac{f_y t_a^2}{\rho g H} \right]^{1/2} \\ \sum \langle \sum \langle \sum 500 \langle \left[\frac{f_y t_a^2}{\rho g H} \right]^{1/2} = 1,5 \left[\frac{235 \cdot 6^2}{8,8 \cdot 9,81 \cdot 7,8} \right]^{1/2} = 0,15 \text{ м} \end{cases}$$

Тіректі сақинаның ішкі бөлігінің $\omega = 500$ мм енін қабылдаймыз.

Қабырғаның сыртқы шетінен түп парақтарының сыртқы шетіне дейінге арақашықтық ҚР ҚН EN 1993-4-2 11.4.8 тармағына сәйкес 50 мм тең қабылданады.

$t_s = 5$ мм қабырғаның төменгі белдеуінің қалыңдығы $t_{\text{оп.кольца}} = 6$ мм түптің тиісті элементтерінің қалыңдығынан аз екендігін ескере отырып түйіннің дәнекерлеу жігінің катетін ҚР ҚН EN 1993-4-2 11.2 кестесіне сәйкес 4,5 мм тең деп қабылдаймыз.

11.5 Резервуардың анкерлі бекітілуі

11.5.1 Стационарлық қақпақпен резервуарлар үшін анкерлі бекіту талап етілмейді, егер қабырға мен түбінің негізден мүмкін болатын үзілуі кезінде мынадай шарттардың кез келгені орындалатын болса:

а) Ішкі жобалау қысымына байланысты бос резервуарды көтерілуі қақпақ, қабырға және басқа да тұрақты орнатылған құрылымдардың мүмкін болатын тозуын ескере отырып бірлескен салмақпен теңеседі;

б) Ішкі жобалау қысымы мен жел жүктемесінің әсері салдарынан резервуардың көтерілуі қақпақ, қабырға және басқа да тұрақты орнатылған құрылымдардың болатын тозуын ескере отырып бірлескен салмақпен, сондай-ақ резервуарда тұрақты болатын (осы сәт жобалаушымен, тапсырысшымен және тиісті бақылау органымен келісіледі) сақталатын өнім салмағымен теңестіріледі;

в) Жел жүктемесі салдарынан бос резервуардың көтерілуі қақпақ, қабырға және басқа да тұрақты орнатылған құрылымдардың мүмкін болатын тозуын ескере отырып бірлескен салмақпен теңеседі;

г) Сыртқы басу (су басу) салдарынан бос резервуардың көтерілуі. Бұл жағдайда анкерлі бекітуді есептеу кезінде резервуар түбі мен қабырғаларының сыртқы әсеріне ықпалын бағалауға болады.

(г) жағдайында резервуардың жел әсерінен мүмкін болатын көтерілу есебін оны өлшенетін көлденең қимамен бірыңғай құрылым ретінде (арқалық теорияны пайдалана отырып) қарастыра отырып тұтас алғанда резервуарт үшін орындау қажет. Бұл жағдайда

бірыңғай қатты құрылым ретінде резервуардың көтерілуі орын алады. Резервуар көтерілмеген жағдайда қосымша есептерді жүргізу қажет.

11.5.2 Анкерлі бекіту нүктесі мүмкін болғанынша резервуардың шеңбер бойымен айнала арақашықтыққа тең болуы тиіс.

11.5.3 Анкерлі бұрандалар немесе бекіту тақтайшаларының құрылымдары EN 1993-1-1 талаптарына жауап беруі тиіс. Анкерлі бұрандалар немесе бекіту тақтайшалары үшін ккдденең қиманың ең төменгі ауданы 500 мм^2 болуы тиіс. Егер коррозия болжамдалса, 1 мм коррозиялы барынша төмен рұқсат қосылуы тиіс.

11.5.4 Анкерлер резервуар қабырғасына бекітілуі тиіс. Тек түпке ғана анкерлі бекітуге рұқсат етілмейді.

11.5.5 Анкерлердің құрылымы қабықшаға (қабырғаға) ықпалды барынша төмендету мақсатында температуралық және гидростатикалық әсермен туындаған мүмкін болатын деформация мен резервуардың жылжуын ескеруі тиіс.

11.5.6 Анкерлі бекіту әсерінен қабықшада туындаған қосымша күштердің есебі 5.4.6 және 5.4.7 тармақтарының талаптарына сәйкес жүргізіледі.

11.5.7 Кктергіш күштің пайда болу жағдайында ғана жұмысқа енгізуді қосу мақсатында анкерлі бұрандалар мен бекіту тақтайшаларын есептеу мен құрылымдауға (алдын ала тарту жағдайларын қоса алғанда) рұқсат етілмейді.

ЕСКЕРТПЕ Егер анкерлі бұрандалар немесе тақтайшалар алдын ала тартылған болып табылмаса, онда жел жүктемесі кезінде ондағы барынша жоғары көтергіш күштер азаятын болады. Бұл мүмкін болатын деформациялар мен темперетара және гидростатикалық әсерден жылжулардан күштерге де қатысты болады.

А Қосымшасы (міндетті)

Резервуарларға ықпал ету

А.1 Жалпы ережелер

А.1.1 Жобалау кезінде А.2.1-А.2.14 тармақтарында берілген жүктемелер мен ықпал етулердің сипатты мәндерін ескеру қажет.

А.1.2 (1) тармақта айтылған сипаттамалық мәндер үшін есепте 2.10 тармағына сәйкес жүктеме (ықпал ету) комбинациялары мен 2.9.2.1. тармағына сәйкес жүктеме бойынша жеке сенімділік коэффициенттерін ескеру қажет.

А.2 Ықпал ету және жүктеме

А.2.1 Сұйықтықтанжүктеме (гидростатикалық жүктеме)

А.2.1.1 Пайдалану үрдісінде гидростатикалық жүктеме барынша жоғары мәннен нөлге дейін (босаңсу резервуарында) түрленеді.

А.2.1.2 Сынақ кезінде пайдаланылатын сұйықтықтан жүктемеге сынақты жүргізу кезінде нөлге дейін (босаңсу резервуарында) барынша жоғары мәннен түрленуі тиіс (сынақта сұйықтығын ескере отырып резервуардың құйылуының барынша жоры деңгейі кезінде).

А.2.1.3 Гидростатикалық жүктеме ҚР ҚН EN 1991-4 7-бөлімнің нұсқауларына сәйкес есептеледі. Сұйықтық қысымының сипаттамалық мәні ҚР ҚН EN 1991-4 (7.1) формула бойынша анықталады:

$$p(z) = \gamma z \quad (A.1)$$

мұнда z – сұйықтықтың үстіңгі қабатындағы тереңдік;
 γ – барлық сұйықтықтың үлесті салмағы ҚР ҚН EN 1991-1-1 А қосымшасы (А 10 кестесі) бойынша қабылданады.

А.2.2 Ішкі қысымнан жүктеме

А.2.2.1 Пайдалану үрдісінде ішкі (артық) қысымнан жүктеме мәні ең төменгі мәннен ішкі қысымның барынша жоғары мәніне дейін түрленеді.

А.2.2.2 Сынақты жүргізу кезінде ішкі (артық) қысымнан жүктеме мәні ең төменгі мәннен ішкі қысымның барынша жоғары мәніне дейін түрленуі тиіс.

А.2.2.3 Ішкі (артық) қысымнан жүктеме Жобалаудың техникалық тапсырмасында айтылуы тиіс.

А.2.3 Температуралық әсер ету

А.2.3.1 Температуралық әсер ету жүктемесі кезеңінің саны босаңқылықтың бұзылу тәуекелінің немесе циклдық пластикалық бұзылу болмаған жағдайда, жылу кеңейтілуіне қарсылыс нәтижесіндегі кернеу еленбеуі мүмкін.

А.2.3.2 Температуралық әсер етуді есепке алу қажеттілігі Жобалауға техникалық тапсырмамен анықталуы тиіс, онда келесі екі нұсқаның бірі берілуі тиіс:

а) тікелей температуралық жүктемені есепке алу немесе елемей қажеттілігі;

б) температуралық әсер ету кезеңі саны тікелей немесе жанама берілуі, соның негізінде босаңқылық бұзылу мүмкіндігі анықталады және есептегі температуралық жүктемені есепке алу қажеттілігі бағаланады (А.2.3-тармағын қараңыз).

А.2.4 Өзіндік салмақтың жүктемелері

А.2.4.1 Резервуардың өзіндік салмағы резервуардың және резервуарға тұрақты бекітілген барлық құрауыштардың барлық құрамдас бөліктерінің жинақ салмағы ретінде қарастырылады. 5.1 (4) EN 1991-1-1-тармағына сәйкес өзіндік салмақтан (резервуардың құрылыс құрылымдарының өзіндік салмағынан өзге) түсетін жүктемеде резервуарға тұрақты бекітілген көмекші құрылымдар мен технологиялық жабдықтың өзіндік салмағы ескерілуі тиіс.

А.2.4.2 Сандық мағыналар ҚР ҚН EN 1991-1-1 алынуы тиіс.

А.2.5 Оқшауландан түсетін жүктеме

А.2.5.1 Аталған жүктеме өзімен қарастырылатын резервуарда қолданылатын оқшаулау материалдардан түсетін жүктемені білдіреді.

А.2.5.2 Сандық мағыналар ҚР ҚН EN 1991-1-1 алынуы тиіс.

А.2.6 Таратылған уақытша жүктеме

А.2.6.1 Таратылған уақытша жүктеме басқасы көрсетілмеген жағдайда EN 1991-1-1 алынуы тиіс.

А.2.7 Шоғырланған уақытша жүктеме

А.2.7.1 Шоғырланған уақытша жүктеме басқасы көрсетілмеген жағдайда ҚР ҚН EN 1991-1-1 алынуы тиіс.

А.2.8 Қар жүктемесі

А.2.8.1 Жүктемелер ҚР ҚН EN 1991-1-3 алынуы тиіс.

А.2.9 Жел жүктемесі

А.2.9.1 Жүктемелер ҚР ҚН EN 1991-1-4 алынуы тиіс.

А.2.9.2 одан өзге, келесі коэффициенттер дөңгелек цилиндрлік резервуарлар үшін қолданылуы мүмкін, А.1-суретті қараңыз.

а) ашық резервуардың ішкі бетіне және ашық қабылдау резервуарының ішкі бетіне қысым коэффициенті: $c_p = -0,6$;

б) аздаған желдету саңылауына ие резервуардың ішкі бетіне қысым коэффициенті: $c_p = -0,4$.

в) қорғаныс қабырғасы бар резервуарлар үшін резервуар қабырғасына ішкі қысым биіктігі бойынша желілік кемітілуі қабылдануы мүмкін.

А.2.9.3 Уақтыша жүктемеге байланысты, кемітілген жел жүктеме EN 1991-1-4 сәйкес көтеру жағдайы үшін пайдаланылуы мүмкін.

А.2.10 Вакуум

А.2.10.1 Жүктемелер ҚР ҚН EN 1991-1-4 алынуы тиіс.

А.2.10.2 ҚР ҚН EN 1991-4 7-тарауының нұсқаулықтарына сәйкес вакуум жүктемесі осы құралдың заты болып табылмайтын арнайы есептің көмегімен анықталады. Вакуум жүктемесі жобалауға Техникалық тапсырмада айтылуы тиіс.

А.2.11 Сейсмикалық жүктеме

А.2.11.1 Жүктемелер сейсмикалық құрылымдарды жобалау жөніндегі талаптар көрсетілген ҚР ҚН EN 1998-4 алынуы тиіс.

А.2.12 Жабдық пен жауын-шашыннан түсетін жүктеме

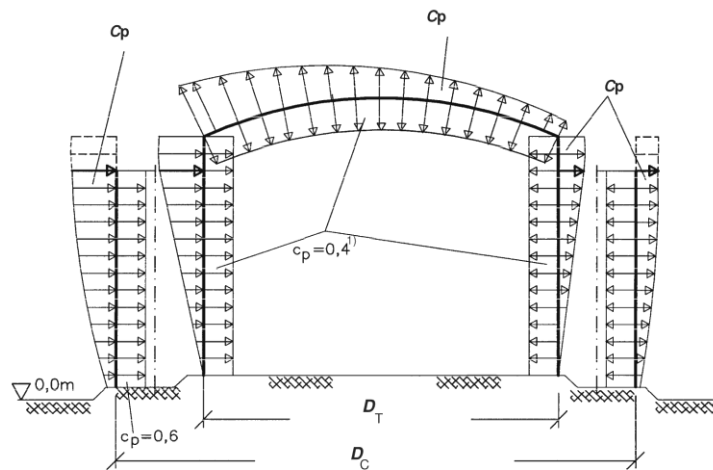
А.2.12.1 Резервуарға жалғанған құбырдың, клапандар мен басқа да жабдықтың жүктемелері мен тәуелсіз жекелеген тірекке жауын-шашыннан түсетін жүктеме резервуардың негізіне қатысты назарға қабылдануы тиіс. Құбырлар резервуарға түсетін қосымша жүктемені азайтатындай етіп жобадануы тиіс.

А.2.13 Жауын-шашынның тең болмауы нәтижесіндегі жүктеме

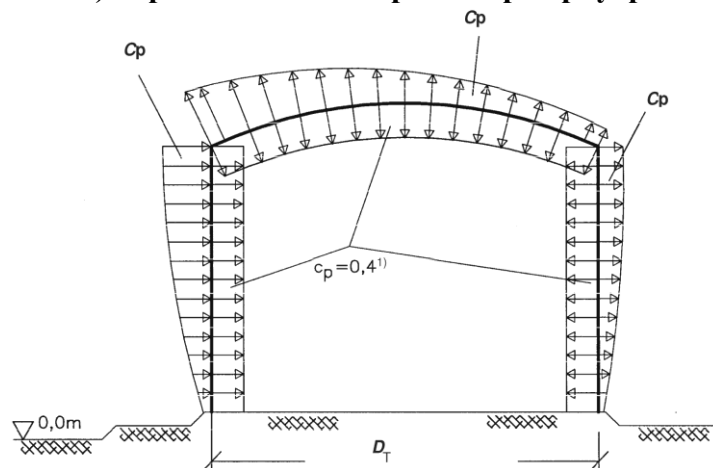
А.2.13.1 Тұнба жүктемелер резервуарды пайдаланған уақытта біркелкі емес жүктеме күтілуі мүмкін орындарда назарға алынуы тиіс.

А.2.14 Апаттық жүктемелер

А.2.14.1 Жүктемелер нақты жағдай үшін көрсетілуі тиіс және жүктемелер резервуардың жанында сыртқы жарылыс, соққы, өрт, ішкі резервуардың ағуы, аударылуы, ішкі резервуардың асып кетуі тәрізді жағдай кезінде қосыла алады.



а) қорғанышты қабырғамен резервуар



б) қорғанышты қабырғасыз резервуар

D_T – негізгі резервуардың диаметрі; D_C – қабылдау резервуарының диаметрі;

1) $C_p = 0,4$ желдетілетін резервуар ғана қолданылады; C_p үшін ешқандай сандық мән берілмесе, олар ҚР ҚН EN 1991-1-4 алынуы тиіс.

УДК 624.014.24

МКС 91.010

Негізгі сөздер: қабықтауыш элементтер, цилиндрлік немесе тік бұрышты болат резервуар, қаттылық, тұрақтылық, беріктік..

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	VII
1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ.....	1
1.1 Область применения	1
1.2 Ссылки на нормативные документы	2
1.3 Основные положения.....	3
1.4 Различия между принципами и правилами применения	4
1.5 Термины и определения.....	4
1.6 Условные обозначения.....	6
1.6.1 Латинские прописные буквы	6
1.6.2 Строчные латинские буквы.....	7
1.6.3 Греческие буквы.....	8
1.6.4 Подстрочные индексы.....	8
1.7 Условные обозначения и правила знаков.....	9
1.7.1 Принятые правила для общей системы координат резервуара для круглых резервуаров.....	9
1.7.2 Принятые правила для общей системы координат для прямоугольных резервуаров.....	10
1.7.3 Принятые правила для локальной системы координат конструктивных элементов круглых и прямоугольных резервуаров	11
1.7.4 Принятые правила (соглашения) для главных напряжений (для круглых и прямоугольных резервуаров).....	13
1.8 Единицы измерения	15
2 ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ	16
2.1 Основные требования	16
2.2 Уровни надежности.....	16
2.3 Предельные состояния.....	17
2.4 Воздействия и влияние на окружающую среду.....	17
2.5 Характеристики материалов	17
2.6 Геометрические параметры	17
2.7 Моделирование (расчетные схемы) и расчет резервуара	17
2.8 Проектирование на основе испытаний.....	18
2.9 Учет воздействий (нагрузок) при проверке предельных состояний	18
2.9.1 Общие положения	18
2.9.2 Частные коэффициенты надежности для предельных состояний по прочности	18
2.9.3 Предельное состояние по эксплуатационной надежности (пригодности).....	20
2.10 Сочетания воздействий (нагрузок)	20
2.11 Долговечность	20
3 ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТЕРИАЛОВ	21
3.1 Общие положения	21

3.2 Конструкционные стали	21
3.3 Стали, используемые для резервуаров (емкостей), работающих под давлением	21
3.4 Нержавеющие стали	22
3.5 Требования по ударной вязкости	22
3.5.1 Общие положения	22
3.5.2 Минимальная проектная температура металла	22
4 ОСНОВЫ РАСЧЕТА КОНСТРУКЦИЙ	24
4.1 Предельные состояния несущей способности	24
4.1.1 Основные положения	24
4.1.2 Толщина пластинчатых элементов, используемая в расчетах	24
4.1.3 Воздействие коррозии	24
4.1.4 Усталость	24
4.1.5 Учет температурных воздействий	25
4.2 Расчет оболочки круглого в плане резервуара	25
4.2.1 Моделирование оболочки	25
4.2.2 Методы расчета	25
4.2.3 Учет геометрических несовершенств	28
4.3 Расчет коробчатой конструкции прямоугольного резервуара	28
4.3.1 Моделирование коробчатой конструкции	28
4.3.2 Учет геометрических несовершенств	29
4.3.3 Методы расчета	29
4.4 Эквивалентные ортотропные свойства обшивки из гофрированного листа	29
5 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК	31
5.1 Основные положения	31
5.1.1 Общие правила	31
5.1.2 Основные принципы конструирования стенки	31
5.2 Виды цилиндрических оболочек	31
5.3 Несущая способность стенки резервуара	31
ПРИМЕР 1 Расчет изотропной стенки цилиндрического резервуара	32
5.4 Опоры и отверстия	74
5.4.1 Оболочка с опиранием на юбку	74
5.4.2 Цилиндрическая оболочка с опиранием на колонны, частично продолженными на стенку	74
5.4.3 Цилиндрическая оболочка с опиранием на отдельно расположенные опоры	74
5.4.4 Резервуар с опиранием на отдельно стоящие колонны, расположенные под воронкой	74
5.4.5 Локальная передача нагрузки на цилиндрические стенки	75
5.4.6 Отверстия в стенках резервуара	75
ПРИМЕР 2 Усиление проемов и отверстий в стенке резервуара	78
5.4.7 Анкерное крепление резервуара	86
5.5 Предельные состояния по эксплуатационной пригодности	87

5.5.1 Основные положения	87
6 ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОНИЧЕСКИХ ВОРОНОК	88
7 ПРОЕКТИРОВАНИЕ КРУГЛЫХ КРЫШ	89
7.1 Основные положения	89
7.7.1 Общие правила	89
7.7.2 Проектирование крыши	89
7.2 Конструктивные решения крыш	89
7.3 Требования к круглым крышам	90
7.4 Особенности проектирования различных видов крыш	90
7.4.1 Безопорные конструкции крыши	90
7.4.2 Конические или куполообразные каркасные крыши	90
7.4.3 Узел стенка-крыша (карнизный узел)	91
7.5 Особенности проектирования различных видов крыш	91
8 ПРОЕКТИРОВАНИЕ УЗЛОВ СОПРЯЖЕНИЯ «ДНИЩЕ–СТЕНКА» (УТОРНЫЙ УЗЕЛ) И ОПОРНЫХ КОЛЬЦЕВЫХ БАЛОК	92
9 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ И ПЛОСКИХ РЕЗЕРВУАРОВ	93
9.1 Основные положения	93
9.2 Виды резервуаров	93
9.2.1 Нежесткие резервуары	93
9.2.2 Жесткие резервуары	93
9.2.3 Подвесные резервуары (tanks with ties)	93
9.3 Прочность вертикальных стенок	94
9.3.1 Проектирование отдельных нежестких плит	94
9.3.2 Проектирование отдельных жестких плит	94
9.3.3 Учет общего изгиба от непосредственного воздействия хранимой жидкости и избыточного давления	94
9.3.4 Мембранные напряжения от поперечной нагрузки	95
9.3.5 Локальное изгибающее воздействие от оборудования или труб	95
9.4 Предельные состояния по эксплуатационной пригодности	95
10 УЧЕТ ТРЕБОВАНИЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И МОНТАЖА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ	96
11 УПРОЩЕННЫЙ ПОДХОД К ПРОЕКТИРОВАНИЮ	97
11.1 Общие положения	97
11.2 Конструкция стационарной крыши	98
11.2.1 Неподкрепленная оболочка со стыковыми или нахлесточными (с двух сторон) сварными швами	98
11.2.2 Крыши с каркасной несущей конструкцией	99
11.2.3 Крыша, поддерживаемая колоннами	102
ПРИМЕР 3 Расчет радиальных балок и центрального кольца сферической крыши	102
11.2.4 Связи	109
11.2.4 Опорное кольцо карнизного узла	110
11.3 Проектирование оболочки	111

11.3.1 Оболочка.....	111
ПРИМЕР 4 Определение толщины стенки резервуара с использованием упрощенного подхода	111
11.3.2 Кольцевые ребра жесткости.....	118
11.3.3 Отверстия и проемы.....	122
11.4 Проектирование днища	122
ПРИМЕР 5 Расчет днища резервуара при дискретном опирании на параллельные опоры.....	123
11.5 Анкерное крепление резервуара	129
ПРИЛОЖЕНИЕ А (обязательное) Воздействия на резервуары	131
А.1 Общие положения.....	131
А.2 Воздействия и нагрузки	131
А.2.1 Нагрузки от жидкости (гидростатические нагрузки)	131
А.2.2 Нагрузка от внутреннего давления.....	131
А.2.3 Температурные воздействия.....	132
А.2.4 Нагрузки от собственного веса.....	132
А.2.5 Нагрузки от изоляции	132
А.2.6 Распределенная временная нагрузка	132
А.2.7 Сосредоточенная временная нагрузка.....	132
А.2.8 Снеговая нагрузка	132
А.2.9 Ветровая нагрузка	133
А.2.10 Вакуум	133
А.2.11 Сейсмические нагрузки	133
А.2.12 Нагрузки от оборудования и осадки.....	133
А.2.13 Нагрузки в результате неравномерной осадки.....	133
А.2.14 Аварийные нагрузки	133

ВВЕДЕНИЕ

Настоящее нормативно-техническое пособие подготовлено ТОО «Астана Строй-Консалтинг» по договору с акционерным обществом «Казахский научно-исследовательский и проектный институт строительства и архитектуры» (АО «КазНИИСА»).

Настоящее нормативно-техническое пособие составлено в развитие положений СП РК EN 1993-4-2 «Проектирование стальных конструкций - Часть 4-2: Резервуары» предназначено для проектирования стальных резервуаров круглой или прямоугольной формы в плане для хранения жидкостей.

Настоящее нормативно-техническое пособие является частью группы нормативно-технических пособий к строительным нормам Республики Казахстан СП РК EN 1993, идентичных Еврокоду 3.

Группа нормативно-технических пособий к СП РК EN 1993 – это перечень нормативно-технических документов, в которых приведены: рекомендации к расчету и к конструированию стальных конструкций согласно Принципам и Правилам проектирования СП РК EN 1993; разъяснения нормативной ссылочной информации; численные примеры расчета; дополнительная справочная информация.

Положения нормативно-технических пособий к СП РК EN 1993 охватывают только требования по несущей способности, эксплуатационной пригодности, долговечности и огнестойкости стальных конструкций. Другие требования не отражены в нормативно-технических пособиях к СП РК EN 1993.

Нормативно-технические пособия к СП РК EN 1993 следует использовать совместно со следующими нормативно-техническими документами:

- НТП к СП РК EN 1990;
- НТП к СП РК EN 1991;
- НТП к СП РК EN 1992 - СП РК EN 1999, в тех частях, которые непосредственно затрагивают расчет стальных конструкций или их элементов;
- стандарты EN, ETAG, ETA и другие соответствующие стандарты на строительные изделия, относящиеся к стальным конструкциям.

Основополагающими документами при разработке нормативно-технических пособий к СП РК EN 1993, помимо самих 20 частей СП РК EN 1993 «Проектирование стальных конструкций», являются СП РК EN 1990, СП РК EN 1991 и EN 1090.

Группа нормативно-технических пособий к СП РК EN 1993 состоит из 19 пособий:

- нормативно-технические пособия к СП РК EN 1993-1 (12 пособий);
- нормативно-техническое пособие к СП РК EN 1993-2 (1 пособие);
- нормативно-техническое пособие к СП РК EN 1993-3 (1 пособие);
- нормативно-технические пособия к СП РК EN 1993-4 (3 пособия);
- нормативно-техническое пособие к СП РК EN 1993-5 (1 пособие);
- нормативно-техническое пособие к СП РК EN 1993-6 (1 пособие).

В нормативно-технических пособиях к СП РК EN 1993-1 приведены указания по проектированию стальных конструкций, которые распространяются на части СП РК EN 1993, имеющие отношение к специальным стальным зданиям и сооружениям:

- СП РК EN 1993-2;
- СП РК EN 1993-3;
- СП РК EN 1993-4;

НТП РК 03-04-2.1-2012

- СП РК EN 1993-5;
- СП РК EN 1993-6.

В настоящем нормативно-техническом пособии к СП РК EN 1993-4-2 приведены:

- Принципы и Правила проектирования стальных резервуаров круглой или прямоугольной формы в плане, содержащиеся в СП РК EN 1993-4-2;
- положения, развивающие Принципы и Правила проектирования, приведенные в СП РК EN 1993-4-2;
- рекомендации, дополняющие Принципы и Правила проектирования, приведенные в СП РК EN 1993-4-2;
- численные примеры расчета, иллюстрирующие применение положений СП РК EN 1993-4-2 в практике проектирования.

При разработке настоящего нормативно-технического пособия, помимо положений СП РК EN 1993-4-2, учтены:

- положения Национального Приложения к СП РК EN 1993-4-2;
- соответствующие положения СП РК EN 1990;
- соответствующие положения СП РК EN 1991.

Настоящее нормативно-техническое пособие состоит из 14 разделов. Разделы с 1 по 14 настоящего нормативно-технического пособия повторяют структуру норматива СП РК EN 1993-4-2. В настоящем нормативно-техническом пособии номера пунктов СП РК EN 1993-4-2 приведены в скобках.

Настоящее нормативно-техническое пособие предназначено для инженерно-технических работников проектных организаций, научных работников, заказчиков проектной продукции, преподавателей и студентов высших учебных заведений.

Настоящее нормативно-техническое пособие вводится в действие для применения на добровольной основе в качестве нормативного документа Республики Казахстан.

**ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ НОРМАТИВТІК-ТЕХНИКАЛЫҚ ҚҰРАЛЫ
НОРМАТИВНО - ТЕХНИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН****ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ.
ЧАСТЬ. СТАЛЬНЫЕ РЕЗЕРВУАРЫ****PART. STEEL TANKS***Дата введения – 2015.01.01***1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ****1.1 Область применения**

1.1.1 Настоящее пособие к СП РК EN 1993-4-2:2007 содержит необходимые пояснения и примеры расчета к основным принципам и правилам проектирования конструкций вертикальных цилиндрических надземных стальных резервуаров для хранения жидкостей со следующими характеристиками:

а) характеристическое значение внутреннего (избыточного) давления выше уровня жидкости находится в пределах 100...500 мбар

б) допустимая проектная температура металла резервуара находится в диапазоне от -50°C до +300°C. При использовании аустенитных нержавеющей сталей проектная температура металла резервуара допускается в пределах от -165°C до +300°C. При наличии усталостной нагрузки температура металла резервуара не должна превышать 150°C;

в) максимальный проектный уровень налива (уровень жидкости) не должен превышать уровень цилиндрической части (стенки).

1.1.2 В настоящем пособии к СП РК EN 1993-4-2:2007, также как и в соответствующей части 4.2 Еврокода 3 конструкции стальных резервуаров рассматриваются только с точки зрения обеспечения прочности и устойчивости конструкции резервуаров. Дополнительные требования по проектированию приводятся:

– для резервуаров, которые эксплуатируются при температуре окружающей среды – в EN 14015;

– для криогенных резервуаров – в EN 14620.

Вопросы изготовления и монтажа рассматриваемых типов резервуаров приводятся в EN 1090.

В вышеуказанных документах приводятся требования к основаниям и фундаментам (в т.ч. требования по осадке), требования к монтажу и испытаниям, функциональные (эксплуатационные) требования к резервуарам в целом, а также оговариваются технологические элементы резервуаров, такие как люки, фланцы и заливочные устройства.

НТП РК 03-04-2.1-2012

1.1.3 Для проектирования сейсмостойких резервуаров необходимо учитывать дополнительные требования, приведенные в EN 1998-4 (Еврокод 8 Часть 4 «Конструкция сейсмостойких сооружений: силосные башни, резервуары и трубопроводы»), которые дополняют в этой области требования Еврокода 3.

1.1.4 При проектировании опорных конструкций для резервуаров необходимо учитывать дополнительно требования EN 1993-1-1.

1.1.5 При проектировании алюминиевых конструкций крыш стальных резервуаров необходимо учитывать дополнительно требования EN 1999-1-5.

1.1.6 Проектирование железобетонных фундаментов для стальных резервуаров необходимо производить с учетом требований, приведенных в EN 1992 и EN 1997.

1.1.7 Численные значения специфических нагрузок на стальные резервуары необходимо принимать в соответствии с требованиями, приведенными в EN 1991-4 «Нагрузки на силосы и резервуары». Дополнительные требования, которые необходимо учитывать при сборе нагрузок на резервуары, приведены в Приложении А.

1.1.8 В данном пособии не оговариваются:

- плавающие крыши и понтоны;
- вопросы огнестойкости, которые приведены в EN 1993-1-2.

1.1.9 Рассматриваемые в СП РК EN 1993-4-2 круглые в плане резервуары ограничиваются только осесимметричными конструкциями. Однако приведенные принципы и правила могут быть также применены как для учета несимметричной нагрузки, так и при несимметричном опирании (несимметричных опорных закреплениях).

1.2 Ссылки на нормативные документы

В настоящем пособии к СП РК EN 1993-4-2:2007 присутствуют ссылки на другие стандарты с указанием или без указания даты издания стандарта. Эти нормативные ссылки цитируются в необходимых случаях, после чего приводится ссылка на соответствующий стандарт. Для датированных ссылок любые пересмотры и изменения применимы к указанному стандарту только в том случае, если внесены в соответствующий документ (стандарт) путем пересмотра или изменения. Для недатированных ссылок применяется последнее издание указываемого документа (стандарта).

СП РК EN 1090-2 Проектирование стальных конструкций

СП РК EN 1990, Еврокод: Основы проектирования

Часть 1.1 Воздействия на конструкции. Нагрузки на здания: концентрированные, вызванные собственной массой и временные нагрузки;

Часть 1.2 Воздействия на конструкции. Воздействия на конструкции незащищенные от огня;

Часть 1.3 Воздействия на конструкции. Снеговые нагрузки;

Часть 1.4 Воздействия на конструкции. Ветровые нагрузки;

Часть 4 Воздействия на бункеры и резервуары;

СП РК EN 1992, Еврокод 2: Проектирование железобетонных конструкций;

СП РК EN 1993, Еврокод 3: Проектирование стальных конструкций;

Часть 1.1 Общие правила и правила для зданий;

Часть 1.3 Тонкие калиброванные элементы холодного формования и оболочка;

Часть 1.4 Нержавеющие стали;
Часть 1.6 Прочность и устойчивость оболочковых конструкций;
Часть 1.7 Планы конструкции из сварных листов с поперечной нагрузкой;
Часть 1.10 Выбор стали с учетом ударной вязкости и свойств в направлении толщины проката
Часть 4.1 Бункера;
СП РК EN 1997 Еврокод 7: Геотехническое проектирование;
СП РК EN 1998 Еврокод 8: Положения по проектированию сейсмостойких конструкций;
Часть 4 Бункеры, резервуары и трубопроводы;
СП РК EN 1999, Еврокод 9: Проектирование алюминиевых конструкций
Часть 1.5: Оболочки;
СП РК EN 10025 Изделия горячекатаные из нелегированных сталей - условия промышленной поставки;
СП РК EN 10028 Плоские стальные изделия для работы под давлением;
СП РК EN 10088 Нержавеющие стали
СП РК EN 10149 Плоские изделия горячей прокатки из сталей с высоким пределом текучести для холодной формовки;
Часть 1 Общие условия поставки
Часть 2 Условия поставки для термомеханической прокатной стали
Часть 3 Условия поставки для нормализованной или нормализованной прокатной стали
СП РК EN 13084 Свободностоящие дымовые трубы
Часть 7 Изделия круглые стальные для использования в одностенчатых стальных дымовых трубах и стальных оболочках
СП РК EN 14015 Спецификация для проектирования и производства строящихся на месте, вертикальных, цилиндрических с плоским дном, выше уровня земли, сварных, металлических резервуаров для хранения жидкостей при температуре окружающей среды
СП РК EN 14620 Проектирование и производство строящихся на месте, вертикальных, цилиндрических с плоским дном, стальных резервуаров для хранения охлажденных жидкостей, сжиженных газов при рабочей температуре от – 5°C до – 165 °C;
ISO 1000 Единицы СИ;
ISO 3898 Основы проектирования конструкций. Условные знаки. Общие символы;
ISO 8930 Общие принципы надежности конструкций – Список терминов.

1.3 Основные положения

1.3.1 Дополнительно к общим положениям, изложенным в EN 1990, в данном документе применяются следующие основные положения (допущения):

– изготовление и возведение выполняются в соответствии с EN 1090, EN 14015 и 14620 соответственно.

1.4 Различия между принципами и правилами применения

См. 1.4 Пункт в СП РК EN 1990.

1.5 Термины и определения

В данном разделе приведены основные термины, используемые в настоящем пособии к СП РК EN 1993-4-2:2007. Данные термины соответствуют терминам и определениям, приведенным в Пункте 1.5 EN 1990 для общего использования в Строительных Еврокодах указанные в ISO 8930. В случае, если трактовка терминов, приведенных в настоящем пособии к СП РК EN 1993-4-2 и EN 1990 и ISO 8930 отличаются, необходимо применять трактовку определения, приведенную в СП РК EN 1993-4-2.

1.5.1 Оболочка (shell): Конструкция, образованная из изогнутого тонкого листа. Для прямоугольных в плане резервуаров под термином «оболочка» понимается «короб» (см. Пункт 1.5.3)

1.5.2 Осесимметричная оболочка (axisymmetric shell): Оболочка, геометрия поверхности которой образуется посредством вращения меридиональной образующей вокруг центральной оси.

1.5.3 Короб (box): Короб представляет собой закрытую трехмерную форму (конструкцию), образованную отдельными плоскими листами. В СП РК EN 1993-4-2 принято, что короб имеет сопоставимые размеры по длине, ширине и высоте.

1.5.4 Меридиональное направление (meridional direction): Направление, в котором касательная к точкам поверхности оболочки резервуара находится в плоскости, проходящей через ось резервуара (в СП РК EN 1993-4-2 это вертикальная плоскость – см. Пункт 1.5.8). Другими словами, это есть вертикальное или наклонное направление на поверхности оболочки, по которому дождевая капля стекает вниз.

1.5.5 Окружное (кольцевое) направление (circumferential direction): Направление, при котором касательная к любой точке стенки резервуара находится в горизонтальной плоскости. Оно меняется по периметру резервуара и совпадает с направлением касательной в точках по окружности резервуара независимо от его формы – круглой или прямоугольной.

1.5.6 Срединная поверхность (middle surface): Термин используется в двух случаях: (1) при описании ненагруженной срединной поверхности при работе оболочки в условиях чистого изгиба и (2) при описании срединной поверхности плоской пластины (листа), которая(ый) формирует короб.

1.5.7 Шаг ребер жесткости (separation of stiffeners): Расстояние между продольными осями двух расположенных рядом параллельных ребер жесткости.

1.5.8 Резервуар (tank). Резервуара – это бак для хранения жидких продуктов. В данном пособии и соответствующих стандартах подразумевается, что резервуар имеет призматическую форму с вертикальной осью (за исключением верхней и нижней частей – днища и крыши).

1.5.9 Стенка (оболочка) (shell): Оболочка представляет из себя цилиндрическую стенку резервуара круглого очертания в плане. Параллельно с термином «стенка» может применяться термин «цилиндрическая стенка».

1.5.10 Стенка резервуара (tank wall): В данном пособии под стенкой резервуара понимаются металлические листовые элементы, формирующие вертикальную стенку, крышу или воронку. Этот термин не ограничивается только вертикальной стенкой.

1.5.11 Пояс (листов резервуара) (course): Цилиндрическая стенка резервуара формируется путем соединения коротких цилиндрических секций в горизонтальных плоскостях. Каждая такая секция образуется посредством соединения отдельных изогнутых листовых элементов между собой вертикальными соединениями (швами). Термин «пояс» как раз и подразумевает одну такую короткую цилиндрическую секцию, имеющую только вертикальные стыки.

1.5.12 Воронка (hopper): Это суживающаяся к низу резервуара секция. Используется для направления стока жидкости к разгрузочному отверстию под действием силы тяжести.

1.5.13 Узел (junction): Узел – это зона (область), в которой соединяются два или более сегмента оболочки или плоских элементов призматической части. Узел также может включать в себя ребра жесткости. Например, присоединение кольцевого ребра жесткости к оболочке или коробу может рассматриваться как узел.

1.5.14 Узел сопряжения (transition junction): Узел сопряжения – это узел соединения вертикальной части бункера и воронки. Данный узел может располагаться в основании вертикальной части или несколько ниже.

1.5.15 Узел стенка-крыша (shell-roof junction): Данное понятие относится к узлу сопряжения вертикальной стенки и крыши резервуара. Иногда его называют еще карнизным узлом, хотя это определение больше относится к хранилищам твердых продуктов.

1.5.16 Продольный (меридиональный) элемент жесткости (stringer stiffener): Это локальный элемент жесткости, повторяющий форму меридиана оболочки, который, в свою очередь, является образующей оболочки вращения. Оно используется для повышения устойчивости, восприятия локальных нагрузок или вертикальных осевых сжимающих усилий. Продольное ребро не предназначено для повышения несущей способности при действии изгибающих моментов от основной поперечной нагрузки.

1.5.17 Ребро (rib): Ребро – это локальный элемент, который непосредственно воспринимает нагрузки, вызывающие изгиб в плоскости меридиана оболочки или плоской пластины. Ребро располагается по образующей оболочки вращения или как вертикальное ребро призматической части. Оно используется для перераспределения поперечной нагрузки на конструкцию при работе конструкции на изгиб.

1.5.18 Кольцевое ребро жесткости (ring stiffener): Кольцевое ребро жесткости – это местный элемент жесткости, который проходит вдоль периметра конструкции на определенной высоте и пересекает меридиан. Принимается, что оно имеет пренебрежимо малую жесткость в меридиональной плоскости оболочки. Кольцевое ребро повышает устойчивость оболочки или воспринимает локальные нагрузки, но не как основной несущий элемент. В оболочке вращения оно проходит по окружности, а в прямоугольных конструкциях оно имеет прямоугольную форму поперечного сечения бункера.

1.5.19 Опорное кольцо (base ring): Опорное кольцо – это конструктивный элемент, который проходит по окружности конструкции и прикрепляет сооружение к фундаменту или к другим конструктивным элементам. Опорное кольцо должно обеспечивать соответствие расчетных предпосылок закрепления резервуара фактическим.

1.5.20 Кольцевая балка (ring girder or ring beam): Элемент, который обладает изгибной жесткостью как в горизонтальной плоскости, так и в плоскости элемента каркаса. Данный элемент располагается по периметру сооружения и в цилиндрических резервуарах

балка по периметру имеет форму кольца, в призматических – форму квадрата или прямоугольника. Данная балка являются одним из основных несущих элементов и используется для восприятия и передачи локальных нагрузок на листовые элементы (цилиндрической или призматической стенки (см. Пункт 1.5.10).

1.5.21 Непрерывная опора (непрерывное опирание) (continuously support): Резервуар имеет непрерывную опору, если в любой точке по периметру основания резервуара передача горизонтальных и вертикальных нагрузок осуществляется одинаковым способом. Возможные незначительные отклонения от этого условия (например, в виде небольшого отверстия) не влияют на применимость этого определения.

1.5.22 Отдельная опора (дискретное опирание) (discrete support): Дискретное опирание имеет место, когда бункер поддерживается ограниченным количеством узких консолей или колонн, расположенных по периметру сооружения.

1.5.23 Резервуар с защитной стенкой (catch basin): Внешняя конструкция резервуара для содержания жидкости, которая может вырваться за счет протечки или из-за аварии в первичном резервуаре. Этот тип конструкции используется там, где основной резервуар содержит токсичные или опасные жидкости.

1.6 Условные обозначения

Применяемые символы основаны на ISO 3898:1987.

1.6.1 Латинские прописные буквы

A – площадь поперечного сечения;

A_1 , A_2 – площадь сечения верхнего или нижнего поясов центрального кольца крыши резервуара;

D – диаметр резервуара;

E – модуль Юнга;

H – высота части стенки корпуса до поверхности жидкости;;
максимальный проектный уровень заполнения резервуара;

H_0 – высота корпуса резервуара;

I – момент инерции поперечного сечения;

K – коэффициент продольного изгиба;

L – высота сегмента оболочки или ребра жесткости;

M – изгибающий момент в элементе конструкции;

N – продольная (осевая) сила в элементе;

N_f – минимальное число циклов нагружений (нагружений) из условий усталости;

P – вертикальная нагрузка на несущий элемент (балку) крыши резервуара;

R – радиус кривизны нецилиндрической оболочки

T – температура;

W – упругий момент сопротивления сечения; вес.

1.6.2 Строчные латинские буквы

a – боковая длина квадратного отверстия в каркасе;
 b – боковая длина квадратного отверстия в каркасе; ширина пластинчатого элемента в поперечном сечении;
 c_p – коэффициент давления для ветровой нагрузки;
 d – диаметр люка или выпускного отверстия;
 e – расстояние от наружного волокна балки до оси балки;
 f_y – предел текучести стали
 f_n – предел прочности стали
 h – высота крыши (кровли) – расстояние от верхней точки крыши до плоскости расположения узла стенка-крыша (см. Пункт 1.5.15);
 высота пояса оболочки резервуара;
 j – коэффициент прочности соединения; коэффициент концентрации напряжения; номер пояса стенки;
 l – высота стенки, на которой стенка может потерять устойчивость;
 m – изгибающий момент на единицу ширины;
 n – результирующее мембранное напряжение (в безмоментной теории);
 количество стропильных (радиальных) балок в круглой крыше резервуара;
 p – распределенная нагрузка (не обязательно под прямым углом к стене);
 p_n – нормальное давление для стенки резервуара (внешнее);
 r – радиус средней поверхности цилиндрической стенки резервуара;
 t – толщина стенки;
 w – минимальная ширина опорного кольца днища резервуара (под стенкой резервуара);
 x – радиальная координата для крыши резервуара;
 y – локальная вертикальная координата для крыши резервуара;
 коэффициент замены, использованный в конструкции усиленных отверстий;
 z – общая осевая координата;
 координата вдоль вертикальной оси осесимметричных резервуаров (оболочек вращения).

1.6.3 Греческие буквы

α – скат крыши;
 β – отклонение днища резервуара от вертикали;
 $=\pi/p$, где p – это количество стропил;
 γ_f – частный коэффициент надежности для воздействий (нагрузки);
 γ_M – частный коэффициент надежности для сопротивлений;
 δ – прогиб;
 Δ – изменение переменной;
 ν – коэффициент Пуассона;

НТП РК 03-04-2.1-2012

θ – окружная координата вокруг корпуса;
 σ – нормальное напряжение;
 τ – касательное напряжение.

1.6.4 Подстрочные индексы

E – значение напряжения или смещения, возникающее в результате проектных воздействий (нагрузок);

F – на половине пролета;
воздействие;

a – кольцевой;

d – проектное значение;

f – усталость;

i – внутри; направленный внутрь;
исчисляемая переменная;

k – центральное кольцо крыши;

k – характеристическое значение;

m – среднее значение;

min – минимальная допустимая величина;

n – номинальный; под прямым углом к стене;

o – снаружи; направленный наружу;

p – давление;

r – радиальный; кольцевой;

R – сопротивление;

s – на опоре;

s – стенка;

x – меридиональный; радиальный; осевой;

y – окружной; перпендикулярный;
текучесть;

0 – эталонное значение;

1 – верхний;

2 – нижний;

θ – окружной.

1.7 Условные обозначения и правила знаков

1.7.1 Принятые правила для общей системы координат резервуара для круглых резервуаров

1.7.1.1 Правила, приведенные в данном разделе, относятся ко всему резервуару в целом. Одновременно следует учитывать, что в данном стандарте резервуар рассматривается не как единый конструктивный элемент, а как конструкция, состоящая из множества других отдельных конструктивных элементов. При работе с системой координат

вначале необходимо четко определить понятия общей и локальной системы координат. Непосредственно в тексте стандарта особое внимание обращается на разграничение понятий «локальная система координат отдельного элемента» и «локальная ориентация направления воздействий (нагрузок) относительно общей системы координат». Необходимо четко представлять, что локальная система координат связана с элементами, присоединенными к оболочке, поэтому нагрузки (воздействия), указанные на отдельные элементы, часто приводятся в локальной системе координат и для приложения их на конструкцию резервуара в целом необходимо их перевести в общую систему координат всего резервуара.

1.7.1.2 В общем случае для общей системы координат резервуара приняты следующие обозначения в цилиндрической системе координат (см. Рисунок 1.1):

Координатная система

Координаты вдоль центральной оси вращения оболочки z

Радиальные координаты r

Окружные координаты θ

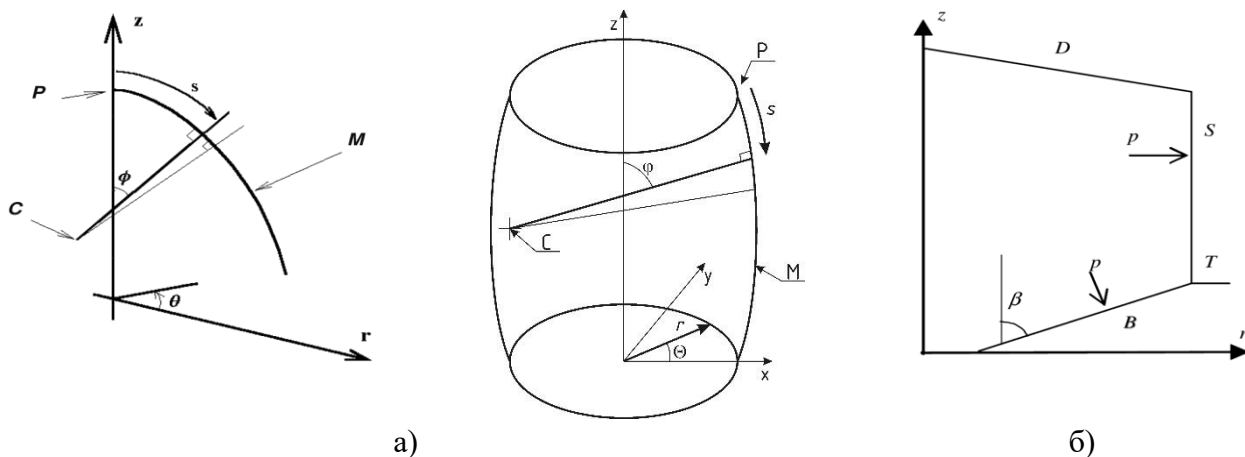
1.7.1.3 Были приняты следующие правила знаков:

Направление наружу – положительное (для внутреннего давления и смещения)

Растягивающие напряжения – положительные (за исключением работы на изгиб, где положительными приняты сжимающие напряжения).

1.7.1.4 Условные обозначения для распределенных нагрузок (воздействий) на поверхность стенки резервуара:

Давление, направленное по нормали к оболочке p_n



а) 3-х мерная схема с общей системой координат (P – опорная точка (полюс); M – меридиан каркаса; C – мгновенный центр меридиональной кривизны);

б) координаты и нагрузка: вертикальный разрез (D – крыша; S – оболочка; B – днище; T – уторный узел)

Рисунок 1.1 – Координатная система для круглого резервуара

1.7.2 Принятые правила для общей системы координат для прямоугольных резервуаров

1.7.2.1 Правила, приведенные в данном разделе, относятся ко всему резервуару в целом. Одновременно следует учитывать, что в данном стандарте резервуар рассматривается не как единый конструктивный элемент, а как конструкция, состоящая из множества других отдельных конструктивных элементов. При работе с системой координат вначале необходимо четко определить понятия общей и локальной системы координат. Непосредственно в тексте стандарта особое внимание обращается на разграничение понятий «локальная система координат отдельного элемента» и «локальная ориентация направления воздействий (нагрузок) относительно общей системы координат». Необходимо четко представлять, что локальная система координат связана с элементами, присоединенными к оболочке, поэтому нагрузки (воздействия), указанные на отдельные элементы, часто приводятся в локальной системе координат и для приложения их на конструкцию резервуара в целом необходимо их перевести в общую систему координат всего резервуара.

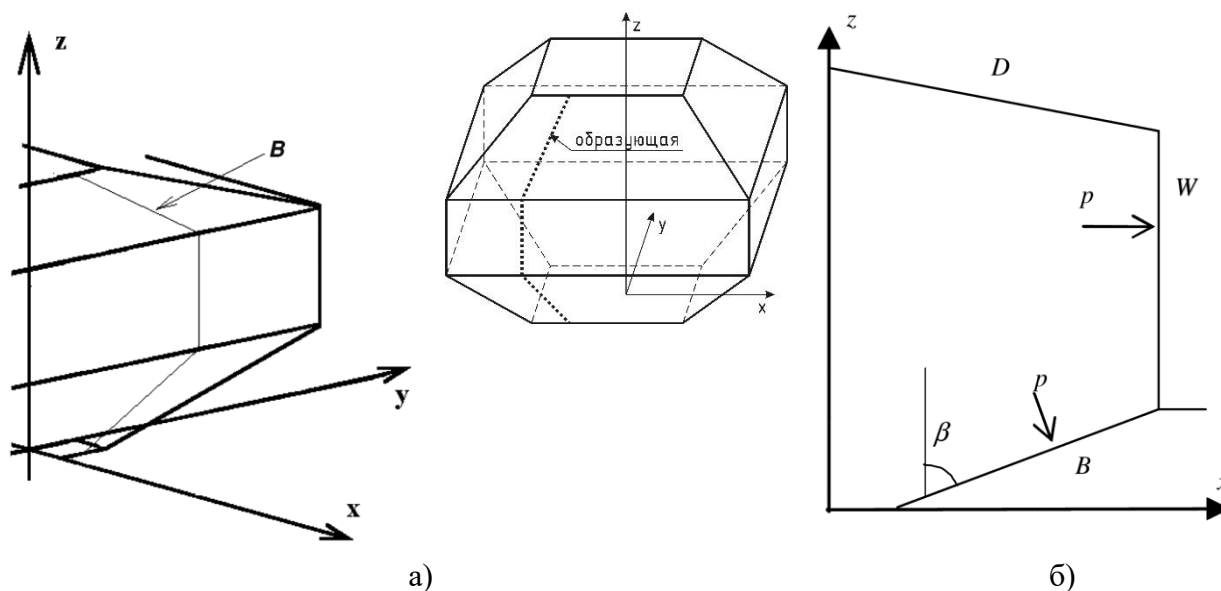
1.7.2.2 В целом, общая система координат конструкции резервуара – это декартовы координаты x, y, z , где вертикальное направление обозначается как z (см. Рисунок 1.2).

1.7.2.3 Были приняты следующие правила знаков:

Направление наружу – положительное (внутреннее давление положительное, смещение наружу положительное)

Растягивающие напряжения – положительные (за исключением работы на изгиб, где положительными приняты сжимающие напряжения).

Касательное напряжение: см. Пункт 1.8.4



а) 3-хмерная схема с общей системой координат (В – меридиан короба);
б) координаты и нагрузка: вертикальный разрез (D – крыша; W – стенка; В – днище)

Рисунок 1.2 – Координатная система для прямоугольного резервуара

1.7.2.4 Условные обозначения для распределенных нагрузок (воздействий) на поверхность стенки резервуара:

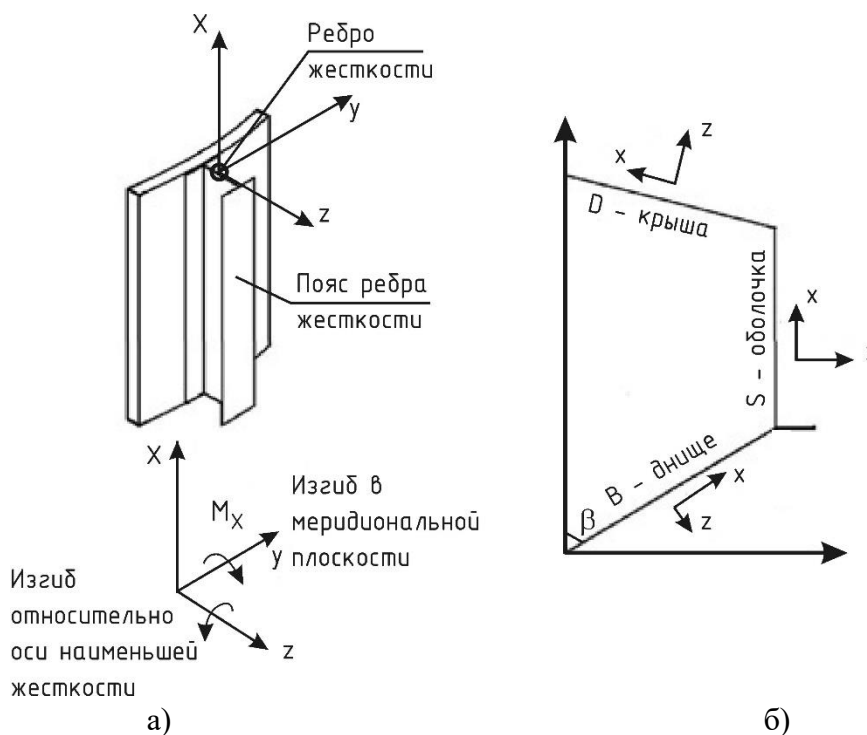
Давление, направленное по нормали к оболочке p

1.7.3 Принятые правила для локальной системы координат конструктивных элементов круглых и прямоугольных резервуаров

1.7.3.1 Условные обозначения для конструктивных элементов, прилегающих к стенке резервуара (см. Рисунки 1.3 и 1.4) различаются для меридиональных и окружных элементов.

1.7.3.2 Условные обозначения для меридиональных конструктивных элементов (см. Рисунок 1.3а), прилегающих к стенке резервуара (как к оболочке, так и к коробу) следующие:

Меридиональная координата для элементов цилиндра, воронки и крыши	x
Сильно изгибающаяся ось (параллельно полкам)	y
Слабо изгибающаяся ось (перпендикулярно полкам)	z



а) ребро жесткости и оси изгиба; б) локальные оси на различных участках резервуара (D – крыша; S – оболочка; B – днище)

Рисунок – 1.3 Локальная система координат для меридиональных ребер жесткости на стенке (оболочке или коробе)

1.7.3.3 Условные обозначения для окружных криволинейных конструктивных элементов (см. Рисунок 1.4а), прилегающих к стенке, следующие:

Окружная координатная ось θ

Радиальная ось r

Вертикальная ось z

1.7.3.4 Условные обозначения для окружных прямолинейных конструктивных элементов, прилегающих к коробу, следующие:

Окружная ось x

Горизонтальная ось y

Вертикальная ось z

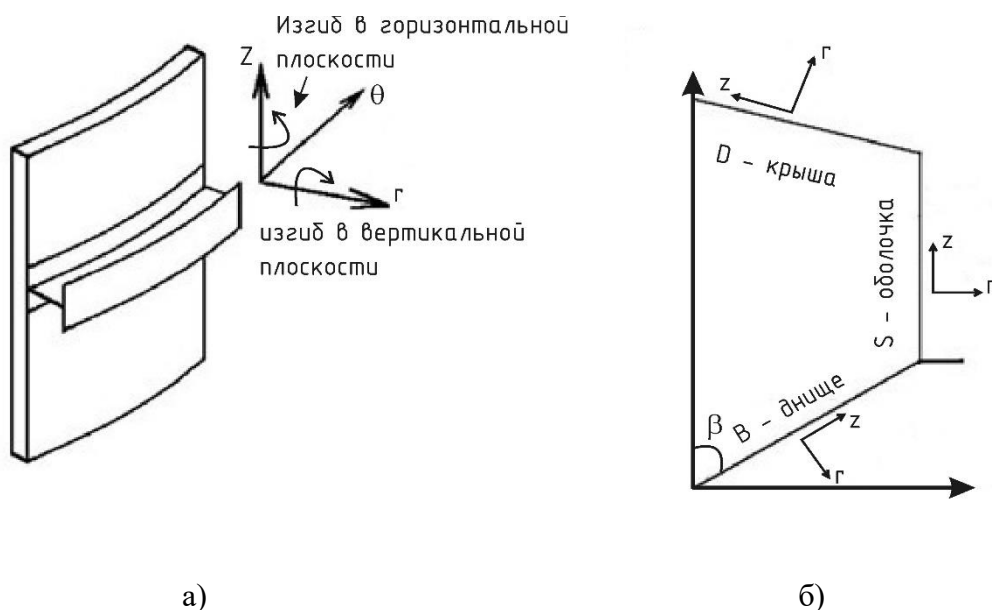


Рисунок 1.4 – Локальная система координат для окружных ребер жесткости на стенке (оболочке или коробе)

1.7.4 Принятые правила (соглашения) для главных напряжений (для круглых и прямоугольных резервуаров)

1.7.4.1 Правило для подстрочных индексов величин, обозначающих напряжения, имеет вид: «подстрочный индекс обозначает направление, в котором приложенная сила вызывает нормальные напряжения». Обозначения и направления действия для мембранных касательных напряжений и крутящих моментов показаны на Рисунке 1.5.

Главные мембранные напряжения и их направления показаны на Рисунке 1.5:

n_x - равнодействующие меридиональные мембранные напряжения;

n_θ - равнодействующие кольцевые мембранные напряжения в оболочках;

n_y - равнодействующие окружные мембранные напряжения в коробах;

n_{xy} или $n_{x\theta}$ - равнодействующие касательные мембранные напряжения.

Мембранные напряжения:

σ_{mx} - меридиональные мембранные напряжения;

$\sigma_{m\theta x}$ - кольцевые мембранные напряжения в оболочках;

σ_{my} - окружные мембранные напряжения в прямоугольных коробах;

τ_{mxy} или $\tau_{mx\theta}$ - касательные мембранные напряжения.

ПРИМЕЧАНИЕ 1 В англоязычной литературе для одного типа напряжений принято использовать единственное число, т.е. «напряжение». В отличие от этого, в русскоязычных нормах расчета используется множественное число, т.е. «напряжения».

ПРИМЕЧАНИЕ 2 В качестве перевода для термина «resultant» не следует использовать термин «резльтирующие». Это обусловлено следующими причинами: (1) результирующими в литературе по инженерным расчетам называют обычно приведенные напряжения, т.е. результат действия нескольких напряжений, (2) согласно СП РК EN 1993-1-6, данные напряжения определяются как интеграл от нормальных напряжений по толщине оболочки, поэтому адекватным переводом будет термин «равнодействующие».

1.7.4.2 Правило для подстрочных индексов величин, обозначающих моменты, имеет вид: «подстрочный индекс обозначает направление, в котором приложенный момент вызывает нормальные напряжения». Обозначения и направления действия для изгибающих моментов показаны на Рисунке 1.5. Следует отметить, что данное правило отличается от обозначения и правил знаков, которые применяются для балок и колонн в соответствии с СП РК EN 1993-1-1 и СП РК EN 1993-1-3.

Равнодействующие изгибающие моменты (показаны на Рисунке 1.5):

m_x - меридиональный изгибающий момент на единицу ширины;

m_θ - кольцевой изгибающий момент на единицу ширины в оболочках;

m_y - окружной изгибающий момент на единицу ширины стенки в прямоугольных коробах;

m_{xy} или $m_{x\theta}$ - крутящие моменты на единицу ширины.

Напряжения при изгибе:

σ_{bx} - меридиональные нормальные напряжения от изгиба;

$\sigma_{b\theta}$ - кольцевые нормальные напряжения от изгиба в оболочках;

σ_{by} - горизонтальные нормальные напряжения от изгиба в прямоугольных коробах;

τ_{bxy} или $\tau_{bx\theta}$ - касательные напряжения от кручения из плоскости оболочки.

Напряжения на внутренних и наружных поверхностях:

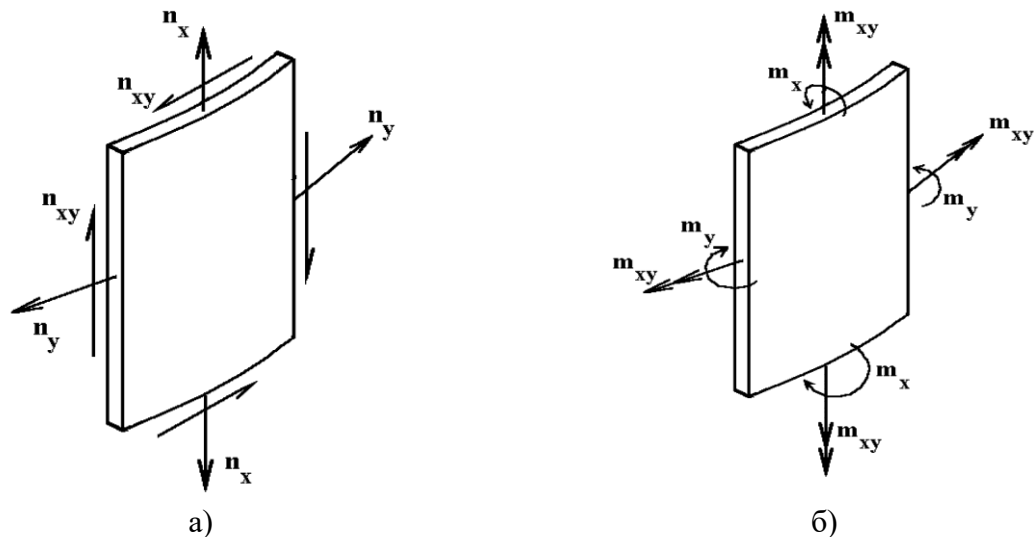
σ_{six} , σ_{sox} - меридиональные внутренние и наружные напряжения на поверхности в коробах и оболочках;

$\sigma_{si\theta}$, $\sigma_{so\theta}$ - кольцевые внутренние и наружные напряжения на поверхности в оболочках;

$\tau_{six\theta}$, $\tau_{sox\theta}$ - внутренние и наружные напряжения на поверхности в оболочках;

σ_{siy} , σ_{soy} - окружные внутренние и наружные напряжения на поверхности в прямоугольных коробах;

τ_{sixy} , τ_{soxy} - внутренние и наружные касательные напряжения на поверхности в прямоугольных коробах.



а – равнодействующие мембранные напряжения;
 б – равнодействующие напряжения при изгибе оболочки

Рисунок 1.5 - Равнодействующие напряжения в стенках резервуара (в оболочках и коробах)

1.8 Единицы измерения

1.8.1Р Единицы СИ должны использоваться в соответствии с ISO 1000.

1.8.2 Для расчетов рекомендованы следующие унифицированные единицы:

– размеры	:	м	мм
– удельный вес (единицы веса)	:	кН/м ³	Н/мм ³
– силы и нагрузки	:	кН	Н
– погонные усилия и погонные нагрузки	:	кН/м	Н/мм
– давления и воздействия, распределенные по площади	:	кПа	МПа
– единицы массы	:	кг/м ³	кг/мм ³
– ускорение	:	км/с ²	м/с ²
– равнодействующие мембранные напряжения	:	кН/м	Н/мм
– равнодействующие изгибающие напряжения	:	кН·м/м	Н·мм/мм
– напряжения и модули упругости	:	кПа	МПа(=Н/мм ²)

2 ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

2.1 Основные требования

2.1.1Р При проектировании, строительстве и обслуживании резервуаров необходимо учитывать требования Раздела 2 СП РК EN 1990, а также дополнительные требования, приведенные ниже.

2.1.2 В процессе проектирования необходимо учитывать возможные варианты нагружения и изменения начальной расчетной схемы сооружения, могущие возникнуть в процессе монтажа резервуара.

2.2 Уровни надежности

2.2.1 Общие понятия о надежности приведены в EN 1990.

ПРИМЕЧАНИЕ Национальное приложение к СП РК EN 1993-4-2 принимает без изменений все положения EN 1993-4-2 в области надежности резервуаров.

2.2.2Р В зависимости от выбранного уровня надежности EN 1993-4-2:2007 разрешает осуществлять проектирование с различной степенью детализации. Имеется в виду выбор в зависимости от степени ответственности резервуара различной конструктивной формы, конструктивных решений и возможных упрощений (например, Раздел 11), а также (в случае необходимости) рассмотрение различных вариантов разрушения конструкции, т.е. учет возможных расчетных ситуаций, которые могут возникнуть как на стадии изготовления и монтажа, так и на стадии эксплуатации резервуара.

2.2.3 Применяемые в EN 1993-4-2:2007 три класса последствий (1, 2 и 3) обеспечивают сопоставимый уровень надежности для различных типов резервуаров. Следует заметить, что оценка уровня надежности учитывает кроме показателей напряженно-деформированного состояния конструкций также и стоимостные показатели обеспечения соответствующего уровня надежности (неразрушения) для различных конструктивных элементов.

ПРИМЕЧАНИЕ Классы последствий в настоящем пособии к СП РК EN 1993-4-2:2007 приняты в соответствии с EN 1993-4-2:2007 и СП РК EN 1993-4-2:2007/2011 (НП).

– **Класс последствий 3:** Резервуары для хранения жидкостей или сжиженных газов с токсичным или взрывным потенциалом, и резервуары большого объема с воспламеняющимися или загрязняющими воду жидкостями на городских территориях. Аварийные нагрузки для этих конструкций необходимо учитывать согласно указаниям Приложению А.2.14 СП РК EN 1993-4-2.

– **Класс последствий 2:** Резервуары среднего размера с воспламеняющимися или загрязняющими воду жидкостями на городских территориях.

– **Класс последствий 1:** Сельскохозяйственные резервуары или резервуары для хранения воды.

НТП РК 03-04-2.1-2012

2.2.4Р Выбор соответствующего Класа последствий должен быть согласован между проектировщиком, клиентом и соответствующим контролирующим органом.

2.3 Предельные состояния

2.3.1 В данном пособии приняты предельные состояния, которые определены в СП РК EN 1993-1-6.

2.4 Воздействия и влияние на окружающую среду

2.4.1Р Общие требования, изложенные в Разделе 4 EN 1990 должны соблюдаться.

2.4.2 Основным нормативным документом при определении нагрузок на резервуары должен являться СП РК EN 1991, но с обязательными уточнениями согласно Приложению А СП РК EN 1993-4-2.

2.5 Характеристики материалов

2.5.1 При проектировании резервуаров следует учитывать общие требования к материалам и их характеристикам, приведенные в СП РК EN 1993-1-1.

2.5.2 Дополнительно при проектировании резервуаров необходимо учитывать специфические требования к материалам, приведенные в Разделе 3 СП РК EN 1993-4-2.

2.6 Геометрические параметры

При определении геометрических параметров резервуара должны учитываться:

- общие требования, представленные в СП РК EN 1990;
- дополнительные, специфические для оболочек, требования, представленные в СП РК EN 1993-1-6;
- указания по определению толщин элементов, приведенные в Пункте 4.1.2 СП РК EN 1993-4-2.

2.7 Моделирование (расчетные схемы) и расчет резервуара

2.7.1Р В процессе моделирования (расчета) необходимо учитывать общие требования, приведенные в СП РК EN 1990.

2.7.2 При расчете конструкций с учетом требований ремонтпригодности для соответствующих элементов конструкции необходимо учитывать требования Пунктов 5.5, 7.5 и 9.4 СП РК EN 1993-4-2 и настоящего пособия.

2.7.3 При расчете конструкций на прочность необходимо учитывать специальные требования, приведенные в Пунктах 5.3, 7.3 и 9.3 СП РК EN 1993-4-2 и настоящего пособия. Также необходимо учитывать требования, приведенные в СП РК EN 1993-1-6.

2.8 Проектирование на основе испытаний

2.8.1 При использовании данного подхода к проектированию необходимо учитывать общие требования, приведенные в Приложении D СП РК EN 1990.

2.9 Учет воздействий (нагрузок) при проверке предельных состояний

2.9.1 Общие положения

2.9.1 В процессе проектирования в обязательном порядке должны быть соблюдены требования, приведенные в СП РК EN 1990.

2.9.2 Частные коэффициенты надежности для предельных состояний по прочности

2.9.2.1 Частные коэффициенты надежности для воздействий (нагрузок) на резервуары

2.9.2.1.1Р Для постоянных и временных расчетных ситуаций значения воздействий (нагрузок) необходимо принимать с учетом частных коэффициентов надежности γ_F .

ПРИМЕЧАНИЕ Согласно Национальному Приложению к СП РК EN 1993-4-2 принятые в действующих нормативных документах значения коэффициентов надежности γ_F соответствуют рекомендуемым в EN 1993-4-2. Значения γ_F приведены в Таблице 2.1.

2.9.2.1.2Р Для случайных (аварийных) ситуаций частные коэффициенты надежности γ_F применяются для нагрузок с переменными значениями (переменных нагрузок). Данный подход также используется при определении нагрузки на приемный резервуар от разлива жидкого продукта.

ПРИМЕЧАНИЕ Согласно Национальному Приложению к СП РК EN 1993-4-2 принятые в действующих нормативных документах значения коэффициентов надежности γ_F соответствуют рекомендуемым в EN 1993-4-2. Значения γ_F приведены в Таблице 2.1.

2.9.2.1.3Р Частные коэффициенты надежности по нагрузке для резервуаров, используемых для хранения производимого на данном производстве продукта (т.н. «товарные» резервуары) должны быть оговорены отдельно.

ПРИМЕЧАНИЕ Согласно Национальному Приложению к СП РК EN 1993-4-2 принятые в действующих нормативных документах значения коэффициентов надежности γ_F соответствуют рекомендуемым в EN 1993-4-2. Значения γ_F приведены в Таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Значения частных коэффициентов надежности для воздействий (нагрузок) на резервуары (для постоянных, временных и случайных (аварийных) расчетных ситуаций)

Расчетная ситуация	Тип жидкости	Значения γ_F для переменных нагрузок от жидкостей	Значения γ_F для постоянных нагрузок
Гидростатические нагрузки в процессе нормальной эксплуатации	токсичные, взрывоопасные или опасные жидкости	1,40	1,35
	воспламеняющиеся жидкости	1,30	1,35
	прочие жидкости	1,20	1,35
Гидростатические нагрузки в процессе испытания	все жидкости	1,00	1,35
Случайные (аварийные) ситуации	все жидкости	1,00	

2.9.2.2 Частные коэффициенты надежности по несущей способности

2.9.2.2.1 При использовании в процессе проектирования параметров и характеристик конструкций (элементов), определенных на основе результатов испытаний, необходимо соблюдать требования и процедуры, регламентированные СП РК EN 1990.

2.9.2.2.2 Проверка усталости должна удовлетворять Разделу 9 в СП РК EN 1993-1-6.

2.9.2.2.3 Р Частные коэффициента надежности γ_{Mi} необходимо принимать по Таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Частные коэффициенты надежности по несущей способности

Вид сопротивления (характер (тип) отказа)	Соответствующий γ
Несущая способность сварного или болтового соединения стенки оболочки из условия пластического разрушения (для поперечного сечения)	γ_{M0}
Потеря устойчивости оболочки	γ_{M1}
Разрыв сварной или соединенной на болтах оболочки	γ_{M2}
Циклическое пластическое разрушение оболочки	γ_{M4}
Несущая способность сварных или болтовых соединений	γ_{M5}
Усталостное разрушение оболочки	γ_{M6}

ПРИМЕЧАНИЕ Согласно Национальному Приложению к СП РК EN 1993-4-2 принятые в действующих нормативных документах значения коэффициентов γ_{Mi} соответствуют рекомендуемым в EN 1993-4-2 и составляют:

$$\gamma_{M0} = 1,00$$

$$\gamma_{M1} = 1,10$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

$$\gamma_{M4} = 1,00$$

$$\gamma_{M5} = 1,25$$

$$\gamma_{M6} = 1,10$$

Дополнительная информация по коэффициенту γ_{M5} может быть получена из СП РК EN 1993-1-8, по коэффициенту γ_{M6} – из СП РК EN 1993-1-9.

2.9.3 Предельное состояние по эксплуатационной надежности (пригодности)

2.9.3.1 При проверке конструкций на эксплуатационную пригодность необходимо учитывать возможное совместное действие воздействий (нагрузок) на конструкции. Совместное действие воздействий (нагрузок) может не учитываться в качестве расчетной ситуации только в том случае, когда это явно оговорено в правилах эксплуатации соответствующего оборудования.

2.9.3.2 Для всех возможных расчетных ситуаций должны быть указаны соответствующие коэффициенты надежности γ_{Mser} .

ПРИМЕЧАНИЕ Согласно Национальному Приложению к СП РК EN 1993-4-2 в действующих нормативных документах принято значение коэффициента $\gamma_{Mser} = 1$.

2.10 Сочетания воздействий (нагрузок)

2.10.1Р При определении совместного действия (сочетания) воздействий (нагрузок) необходимо соблюдать общие требования, приведенные в СП РК EN 1990.

2.10.2 Одновременное воздействие временных и снеговых нагрузок может не учитываться.

2.10.3 Для ветровой нагрузки при учете ее совместного действия с нагрузкой от гидростатического испытания может быть использовано ее пониженное значение при рассмотрении ветровой нагрузки как кратковременной.

2.10.4 При испытании резервуара сейсмические нагрузки допускается не учитывать.

2.10.5 При испытании резервуара аварийные нагрузки допускается не учитывать. Учет случайных (временных) нагрузок при рассмотрении расчетных аварийных ситуаций должен производиться согласно указаниям СП РК EN 1990.

2.11 Долговечность

2.11.1 Необходимо учитывать общие требования и принципы, приведенные в СП РК EN 1990.

3 ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТЕРИАЛОВ

3.1 Общие положения

3.1.1 Все марки сталей, применяемые для резервуаров, должны иметь хорошую свариваемость. Это требование предъявляется для возможности и удобства ремонта и реконструкции резервуара в будущем.

3.1.2 Все стали, используемые для резервуаров круглой формы, должны быть пригодны для холодного формования в изогнутые листы или изогнутые элементы.

3.1.3 Оговоренные в Разделе 3 СП РК EN 1993-4-2 характеристики материала следует рассматривать как номинальные и при проектировании и расчете они учитываются в качестве характеристических значений, т.е. при расчете дополнительно необходимо будет учитывать соответствующие поправочные коэффициенты.

3.1.4 Прочие характеристики материала приведены в соответствующих указанных стандартах, определенных в СП РК EN 1993-1-1.

3.1.5 В случае использования резервуара для хранения жидкостей с высокой температурой свойства материала, которые будут учитываться при расчете и проектировании, необходимо определять с учетом максимальной температуры, при которой будет работать материал.

3.1.6 Характеристики материала (стали), работающего в условиях повышенных температур ($T > 100^{\circ}\text{C}$ для конструкционных сталей и $T > 50^{\circ}\text{C}$ для нержавеющей сталей) должны определяться по СП РК EN 13084-7.

3.2 Конструкционные стали

3.2.1 Приведенные в СП РК EN 1993-4-2 методы расчета и проектирования могут быть использованы для конструкционных сталей, оговоренных в СП РК EN 1993-1-1, частях 2...6 EN 10025 и СП РК EN 1993-1-3.

3.2.2 Механические свойства конструкционных сталей, соответствующих EN 10025 или EN 10049, необходимо принимать в соответствии с Разделом 3 СП РК EN 1993-1-1 или Разделом 3 СП РК EN 1993-1-3.

3.3 Стали, используемые для резервуаров (емкостей), работающих под давлением

3.3.1 Принципы и подходы к проектированию, оговоренные в СП РК EN 1993-4-2 также могут использоваться для сталей по EN 10028, из которых изготавливаются резервуары (емкости), работающие под давлением, при следующих условиях:

- предел текучести находится в диапазоне, охватываемом EN 1993-1-1;
- предельная деформация не меньше минимального значения для сталей в соответствии с СП РК EN 1993-1-1, которые имеют такой же указанный предел текучести;
- соотношение f_u/f_y не меньше 1,10.

3.3.2 Механические характеристики сталей, используемых при давлении, должны быть взяты в соответствии с EN 10028.

3.3.3 При расчете конструкций на устойчивость необходимо использовать соответствующие приведенные характеристики согласно Раздела 3.1 СП РК EN 1993-1-6.

ПРИМЕЧАНИЕ Национальное Приложение к СП РК EN 1993-4-2 не содержит никаких дополнений в Разделу 3.3 СП РК EN 1993-4-2 и принимает его положения в полном объеме.

3.4 Нержавеющие стали

3.4.1 Механические характеристики нержавеющей сталей по EN 10088, приведены в СП РК EN 1993-1-4.

3.4.2 Руководство по выбору нержавеющей сталей с учетом коррозионного воздействия может быть получено из соответствующих источников.

3.4.3 При расчете конструкций на устойчивость необходимо использовать соответствующие приведенные характеристики согласно СП РК EN 1993-1-6.

3.5 Требования по ударной вязкости

3.5.1 Общие положения

3.5.1.1 Требования по ударной вязкости необходимо определять для минимальной проектной температуры металла (минимальной температуры металла при эксплуатации) по СП РК EN 1993-1-10.

3.5.1.2 Минимальная проектная температура металла (МПТМ) определяется согласно указаний Пункта 3.5.2 СП РК EN 1993-4-2. Полученное значение МПТМ может быть использовано вместо T_{ed} в СП РК EN 1993-1-10.

3.5.2 Минимальная проектная температура металла

3.5.2.1 Минимальная проектная температура металла принимается равной минимальному значению из двух: минимальной температуры содержимого резервуара или минимальной температуры, определенной по Таблице 3.1 и Пункту 3.5.2(2) СП РК EN 1993-4-2 и настоящего Пособия.

3.5.2.2 Для определения минимальной проектной температуры металла МПТМ используется значение минимальной средней дневной температуры окружающей среды LODMAT (МСДТОС), которая определяется как минимальная средняя зарегистрированная температура за любой 24-х часовой период. При отсутствии данной информации LODMAT (МСДТОС) может быть принята как среднее значение между минимальной и максимальной температурами или иным обоснованным способом.

Определение МПТМ, зная значение LODMAT (МСДТОС), производится по Таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Минимальная проектная температура металла МПТМ, основанная на LODMAT (МСДТОС)

	Минимальная проектная температура металла МПТМ
--	--

НТП РК 03-04-2.1-2012

Средняя дневная минимальная температура окружающей среды LODMAT (МСДТОС)	10-летний период наблюдений	30-летний период наблюдений
$-10^{\circ}\text{C} \leq \text{LODMAT (МСДТОС)}$	$\text{LODMAT (МСДТОС)} + 5^{\circ}\text{C}$	$\text{LODMAT (МСДТОС)} + 10^{\circ}\text{C}$
$-25^{\circ}\text{C} \leq \text{LODMAT (МСДТОС)} \leq -10^{\circ}\text{C}$	LODMAT (МСДТОС)	$\text{LODMAT (МСДТОС)} + 5^{\circ}\text{C}$
$\text{LODMAT (МСДТОС)} \leq -25^{\circ}\text{C}$	$\text{LODMAT (МСДТОС)} - 5^{\circ}\text{C}$	LODMAT (МСДТОС)

4 ОСНОВЫ РАСЧЕТА КОНСТРУКЦИЙ

4.1 Предельные состояния несущей способности

4.1.1 Основные положения

4.1.1.1 Стальные конструкции, их элементы и узлы должны отвечать требованиям, изложенным в Разделе 2 СП РК EN 1993-4-2.

4.1.2 Толщина пластинчатых элементов, используемая в расчетах

4.1.2.1 Толщина пластины, учитываемая в расчетах, принимается равной номинальной толщине согласно EN 10025, EN 10028, EN 10049 или EN 10088 за вычетом максимального значения минусового допуска на прокат и принятого запаса на коррозионный износ (допуска на коррозию), определяемого в соответствии с указаниями Пункта 4.1.3 СП РК EN 1993-4-2.

4.1.3 Воздействие коррозии

4.1.3.1 Необходимо принимать во внимание воздействие коррозии.

4.1.3.2 Коррозия зависит от агрессивности хранимой жидкости, марки стали, термической обработки и вторичных мер, предпринятых для защиты сооружения от коррозии.

4.1.3.3 В случае необходимости должно быть указано значение допуска на коррозионный износ.

4.1.4 Усталость

4.1.4.1Р При режиме эксплуатации конструкции, характеризующимся частыми циклами нагружения-разгружения, конструкцию необходимо проверять на предельное состояние по усталости.

4.1.4.2 Расчет и проектирование с учетом малоцикловой усталости выполняется согласно СП РК EN 1993-1-6.

4.1.4.3 При наличии переменных воздействий (нагрузок) с количеством циклов за проектный срок эксплуатации более N_f конструкция должна быть проверена на усталостную прочность (LS4) согласно Разделу 9 СП РК EN 1993-1-6.

ПРИМЕЧАНИЕ Согласно Национальному Приложению к СП РК EN 1993-4-2 в действующих нормативных документах принято значение количества циклов $N_f = 10\,000$.

4.1.5 Учет температурных воздействий

4.1.5.1 При расчете необходимо учитывать влияние разности температур между различными элементами резервуара. Это влияние необходимо соответствующим образом учитывать при определении напряжений в элементах конструкции в зависимости от рассматриваемого предельного состояния.

4.2 Расчет оболочки круглого в плане резервуара

4.2.1 Моделирование оболочки

4.2.1.1 При моделировании оболочки должны выполняться требования, приведенные в EN 1993-1-6, но они могут считаться выполненными при соблюдении нижеприведенных условий.

4.2.1.2 При моделировании оболочки должны быть учтены все ребра жесткости, проемы и отверстия, а также все дополнительные элементы, примыкающие к оболочке.

4.2.1.3 Условия закрепления, принятые в расчетной схеме и фактически реализованные конструктивные решения должны соответствовать друг другу.

4.2.2 Методы расчета

4.2.2.1 Общие положения

4.2.2.1.1 Расчет оболочки должен проводиться с соблюдением требований, указанных в СП РК EN 1993-1-6.

4.2.2.1.2 Степень детализации, методы расчета и применяемые теории расчета должны соответствовать выбранному классу последствий. При необходимости проектировщик имеет право использовать подходы к расчету, определенные для более высокого класса последствий.

4.2.2.1.3 Независимо от принятого класса последствий проектировщик имеет право использовать упрощенный подход к проектированию, приведенный в Разделе 11, если соблюдаются приведенные в Пункте 11.1 СП РК EN 1993-4-2 условия.

4.2.2.2 Класс последствий 1

4.2.2.2.1 Для резервуаров, относящихся к классу последствий 1, для определения главных напряжений рекомендуется использовать мембранную (безмоментную) теорию. Для данного класса последствий учет в расчете несимметричных воздействий (нагрузок) и локального изгиба рекомендуется учитывать путем использования упрощенных расчетных подходов.

4.2.2.3 Класс последствий 2

4.2.2.3.1 Для резервуаров класса последствий 2 при осесимметричных воздействиях (нагрузках) и условиях закрепления может использоваться один из двух вариантов расчета:

а) Для определения главных напряжений используется мембранная (безмоментная) теория, а для учета локальных эффектов, в т.ч. краевого эффекта, – моментная теория.

б) Могут быть использованы численные методы расчета (например, программные комплексы, основанные на методе конечных элементов), что допускается СП РК EN 1993-1-6, при условии, что используемые программные продукты (методы, принципы) обеспечивают достоверность получаемых результатов.

4.2.2.3.2 При несимметричных воздействиях (нагрузках) должны использоваться достоверные численные методы расчета за исключением случаев, оговоренных в (3) и (4).

4.2.2.3.3 В случае воздействия на конструкцию резервуара плавно изменяющейся по окружности нагрузки, вызывающей только общий изгиб (1-я форма гармоника), для определения главных напряжений может использоваться мембранная (безмоментная) теория.

4.2.2.3.4 Для расчета резервуара на ветровую нагрузку или нагрузку от осадки фундаментов могут использоваться полумембранная или мембранная теории.

ПРИМЕЧАНИЕ В СП РК EN 1993-1-6 приведены основные сведения расчета оболочек с использованием мембранной (безмоментной) теории. Полумоментная теория описывает работу мембраны с учетом окружной изгибной жесткости.

4.2.2.3.5 В резервуарах очень часто используются дополнительные кольцевые элементы жесткости, прикрепленные к оболочке. При расчете конструкции оболочки с использованием мембранной (безмоментной) теории для таких кольцевых элементов их эффективная площадь включает в себя участки оболочки длиной $0.78\sqrt{rt}$ выше и ниже присоединенного кольцевого элемента. Это не относится к случаю, когда кольцевой элемент находится на стыке поясов.

4.2.2.3.6 При расположении ребер жесткости по оболочке с шагом не более $5\sqrt{rt}$ данные ребра могут быть учтены в расчете оболочки как «размазанные» по оболочке (учитывается совместная работа оболочки и ребер). В этом случае напряжения в оболочке и в ребрах жесткости могут определяться с учетом их совместной работы.

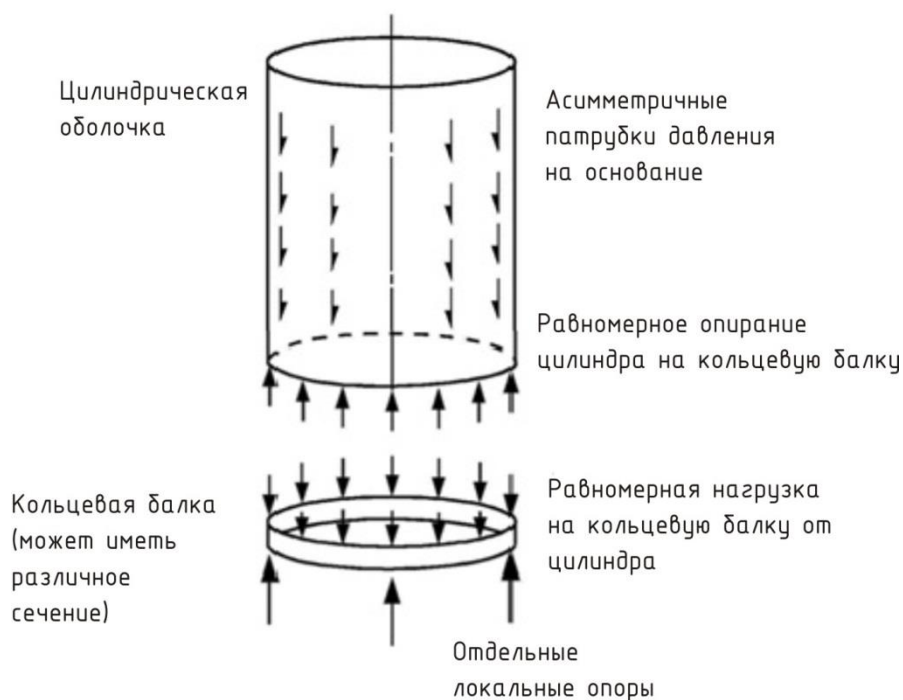
4.2.2.3.7 Если учитывается совместная работа стенки и ребер жесткости, напряжения в ребрах жесткости должны определяться с учетом их совместной работы, включая действие на ребра мембранных меридиональных напряжений в соответствии с указаниями Пункта 4.4 СП РК EN 1993-4-2.

4.2.2.3.8 Если кольцевая балка смонтирована выше дискретных опор, должна учитываться совместность деформаций между кольцевой балкой и смежными сегментами оболочки (см. Рисунок 4.1). Если используется такая кольцевая балка, необходимо учесть эксцентриситет центра тяжести кольцевой балки и центра сдвига относительно стенки оболочки и центральной оси опоры.

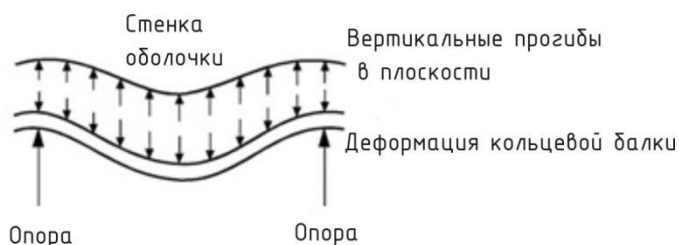
4.2.2.3.9 Если кольцевая балка представляет собой жесткую коробчатую конструкцию, выполненную из листовых элементов, то для вертикальных элементов сечения (стенок) соотношение ширины (высоты) стенки к ее толщине не должно превышать $b/t = 20$.

4.2.2.3.10 При использовании кольцевой балки для передачи нагрузки на дискретные опоры или болты или при соединении элементов конструкции дискретно (в отдельных точках) в расчете необходимо учитывать совместность деформаций кольцевой балки и примыкающей к ней оболочки из-за изгиба кольцевой балки.

а)



б)



а - обычная расчетная модель резервуара на колоннах (дискретных опорах);
б - деформации цилиндра, вызванные совместностью с деформациями балки

Рисунок 4.1 - Совместность деформаций кольцевой балки и оболочки:

4.2.2.4 Класс последствий 3

4.2.2.4.1 Для резервуаров, принадлежащих к классу последствий 3, внутренние силы и моменты должны определяться посредством достоверных методов расчета (например, исследование оболочки методом конечных элементов) как определено в СП РК EN 1993-1-6. Рассмотрение предельного состояния по пластичности (LS1) может быть ограничено рассмотрением только прочности при пластическом разрушении под действием основных напряжений, как это определено в СП РК EN 1993-1-6.

4.2.3 Учет геометрических несовершенств

4.2.3.1 Геометрические несовершенства оболочки должны находиться в пределах и допусках, оговоренных в СП РК EN 1993-1-6.

4.2.3.2 Для резервуаров, относящихся к классам последствий 2 и 3, после окончания строительства необходимо выполнить оценку наличия и параметров геометрических несовершенств на соответствие допускаемым значениям.

4.2.3.3 При обычном расчете резервуаров, если это отдельно не оговорено, геометрические несовершенства оболочки не учитываются. Учет геометрических несовершенств оболочки производится только при расчете с учетом геометрической (GNIA) и геометрической и физической (GMNIA) нелинейности согласно СП РК EN 1993-1-6.

4.3 Расчет коробчатой конструкции прямоугольного резервуара

4.3.1 Моделирование коробчатой конструкции

4.3.1.1 При моделировании оболочки должны выполняться требования, приведенные в СП РК EN 1993-1-7, но они могут считаться выполненными при соблюдении нижеприведенных условий.

4.3.1.2 При моделировании оболочки должны быть учтены все ребра жесткости, проемы и отверстия, а также все дополнительные элементы, примыкающие к оболочке.

4.3.1.3 Условия закрепления в расчетной схеме и фактически принятые конструктивные решения должны соответствовать друг другу.

4.3.1.4 Конструктивное решение узлов примыкания элементов коробчатой конструкции друг к другу должны соответствовать расчетным предположениям (предпосылкам), принятым в расчетной схеме при моделировании.

4.3.1.5 Допускается рассматривать каждый элемент коробчатой конструкции по отдельности при выполнении следующих условий:

а) учтено влияние усилий и моментов, передающихся с соседних элементов на рассматриваемый элемент;

б) в граничных условиях (опорных закреплениях) для рассматриваемой пластины учтена изгибная жесткость соседних элементов.

4.3.1.6 При подкреплении плоского листового элемента отдельно расположенными (дискретными) ребрами жесткости напряжения в ребрах жесткости и в соответствующем плоском элементе допускается определять, рассматривая ребра жесткости как «размазанные». При этом расстояние между ребрами жесткости не должно быть более $n_s t$, где значение n_s определяется в соответствующем Национальном Приложении.

ПРИМЕЧАНИЕ В Национальном Приложении к СП РК EN 1993-4-2 принято рекомендуемое в EN 1993-4-2 значение $n_s = 40$.

4.3.1.7 При учете совместной работы стенки и ребер жесткости, напряжения в ребрах жесткости должны определяться с учетом их эксцентриситета относительно срединной

плоскости стенки, а также необходимо учитывать влияние напряжений в стенке в направлении, перпендикулярном оси ребра.

4.3.1.8 Расчетная ширина плиты с каждой стороны ребра жесткости принимается не более $n_{ew}t$, где t – это толщина плиты в месте примыкания ребра жесткости, а значение n_{ew} определяется в соответствующем Национальном Приложении.

ПРИМЕЧАНИЕ В Национальном Приложении к СП РК EN 1993-4-2 принято рекомендуемое в EN 1993-4-2 значение $n_{ew} = 15$.

4.3.2 Учет геометрических несовершенств

4.3.2.1 Геометрические несовершенства должны находиться в пределах и допусках, оговоренных в EN 1993-1-7.

4.3.2.2 При обычном расчете резервуаров, если это отдельно не оговорено, геометрические несовершенства специально не учитываются.

4.3.3 Методы расчета

4.3.3.1 Внутренние усилия в листовых элементах короба могут быть определены следующими способами:

- а) методом статического равновесия мембранных сил и балочной теории изгиба;
- б) расчетом на основе линейной теории изгиба и растяжения (моментной теории);
- в) расчетом на основе нелинейной теории изгиба и растяжения.

4.3.3.2 Для резервуаров класса последствий 1 может быть использован метод (а) в (1).

4.3.3.3 Для резервуаров класса последствий 2 при симметричном нагружении может быть использован метод (а) в (1).

4.3.3.4 Для резервуаров класса последствий 2 при несимметричном нагружении необходимо использовать либо метод (б), либо (в) в (1).

4.3.3.5 Для резервуаров класса последствий 3 внутренние силы и моменты должны быть определены с использованием либо метода (б), либо (в) в (1).

4.4 Эквивалентные ортотропные свойства обшивки из гофрированного листа

4.4.1 Расчет обшивки из гофрированного листа следует выполнять как эквивалентной однородной ортотропной стенки.

4.4.2 Расчет ортотропных характеристик гофрированных листов выполняется согласно указаниям, приведенным в Пункте 4.4 СП РК EN 1993-4-1. Полученные характеристики могут быть использованы для анализа прочности и устойчивости конструкций.

5 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК

5.1 Основные положения

5.1.1 Общие правила

5.1.1.1 Размеры цилиндрической оболочки следует назначать такими, чтобы выполнялись основные расчетные требования предельных состояний по несущей способности, как это указано в Разделе 2 СП РК EN 1993-4-2.

5.1.1.2 Оценка надежности цилиндрической оболочки должна выполняться с использованием требований стандарта СП РК EN 1993-1-6.

5.1.2 Основные принципы конструирования стенки

5.1.2.1 При выполнении расчетов по предельным состояниям несущая способность цилиндрической стенки резервуара должна быть проверена по следующим критериям, указанным в стандарте СП РК EN 1993-1-6:

- общая устойчивость и статическое равновесие.
- LS1: пластическое предельное состояние
- LS2: циклическая пластичность
- LS3: потеря устойчивости
- LS4: усталость

5.1.2.2 Стенка цилиндрической оболочки должна соответствовать требованиям стандарта СП РК EN 1993-1-6, за исключением тех случаев, когда это соответствие обеспечивается выполнением условий, указанных в СП РК EN 1993-4-2.

5.1.2.3 В резервуарах класса последствий 1 несущая способность по предельным состояниям циклической пластичности и усталости может не проверяться.

5.2 Виды цилиндрических оболочек

5.2.1 Цилиндрическая оболочка, выполненная из плоских прокатных стальных листов, называется «изотропная» (см. Пункт 5.3.2 СП РК EN 1993-4-1).

5.2.2 Цилиндрическая оболочка, выполненная из гофрированных листов с ориентацией гофров в кольцевом направлении, называется «горизонтально гофрированной» (см. Пункт 5.3.4 СП РК EN 1993-4-1).

5.2.3 Цилиндрическая оболочка с ребрами жесткости, установленными с наружной стороны независимо от их шага, классифицируется как «с наружными ребрами» (см. Пункт 5.3.3 СП РК EN 1993-4-1).

5.3 Несущая способность стенки резервуара

5.3.1 Расчет цилиндрической оболочки выполняется согласно указаниям EN 1993-1-6, если другой подход не оговорен в Пункте 5.4 СП РК EN 1993-4-2.

5.3.2 Сплошность и непроницаемость стыковых сварных швов может считаться обеспеченной, если выполняются требования EN 14015 или EN 14620.

5.3.3 Для других типов соединения конструкция соединения должна быть в соответствии с EN 1993-1-8.

ПРИМЕР 1 Расчет изотропной стенки цилиндрического резервуара

1 Исходные данные

Для примера возьмем стальной резервуар номинальным объемом 10000 м³ по типовому проекту 704-1-170.84 «Резервуар стальной вертикальный цилиндрический для нефти и нефтепродуктов емкостью 10000 куб.м». Для данного резервуара согласно указаниям СП РК EN 1993-4-2 выполним:

- а) сбор нагрузок;
- б) численный расчет для определения компонентов напряженного состояния;
- в) проверочный расчет цилиндрической стенки (толщин поясов резервуара) согласно указаниям Раздела 5 СП РК EN 1993-4-2.

1.1 Параметры резервуара

Радиус $r = 14,250$ м, диаметр резервуара $d = 2r = 2 \cdot 14,25 = 28,5$ м, высота стенки $H = 18$ м, высота поясов стенки $h = 2$ м, распределение толщин поясов (согласно типовому проекту) 12-9-8-7-6-6-6-6-6 (начиная с первого пояса), кровля – сферическая (стрела подъема $f = 1$ м.

Схема резервуара приведена на Рисунке 1.

1.2 Характеристики резервуара

- а) номинальный объем – 10000 м³;
- б) тип хранимого продукта – бензол;
- в) высота налива – 16,5 м;
- г) класс последствий – 2 по Пункту 2.2(3) СП РК EN 1993-4-2.

2 Сбор нагрузки на резервуар

Перечень нагрузок на резервуар, которые необходимо учитывать при расчете и проектировании, приведен в Пунктах А.2.1–А.2.14 Приложения А СП РК EN 1993-4-2. Если при расчете и проектировании резервуара используется упрощенный подход согласно Разделу 11 СП РК EN 1993-4-2, то перечень нагрузок должен отвечать ограничениям, оговоренным в Пункте 11.1 СП РК EN 1993-4-2.

2.1 Гидростатическая нагрузка рассчитывается согласно указаниям Раздела 7 СП РК EN 1991-4. Характеристическое значение давления жидкости определяется по Формуле 7.1 СП РК EN 1991-4:

$$p(z) = \gamma z$$

где

z – глубина под поверхность жидкости;

γ – удельный вес хранимой жидкости, принимается по Приложению А (Таблица А.10) СП РК EN 1991-1-1; $\gamma = 8,8$ кН/м³.

Принятая схема приложения нагрузки от гидростатического давления представлена в Таблице 1 (максимальные, минимальные и средние значения по каждому поясу) и на Рисунке 2.

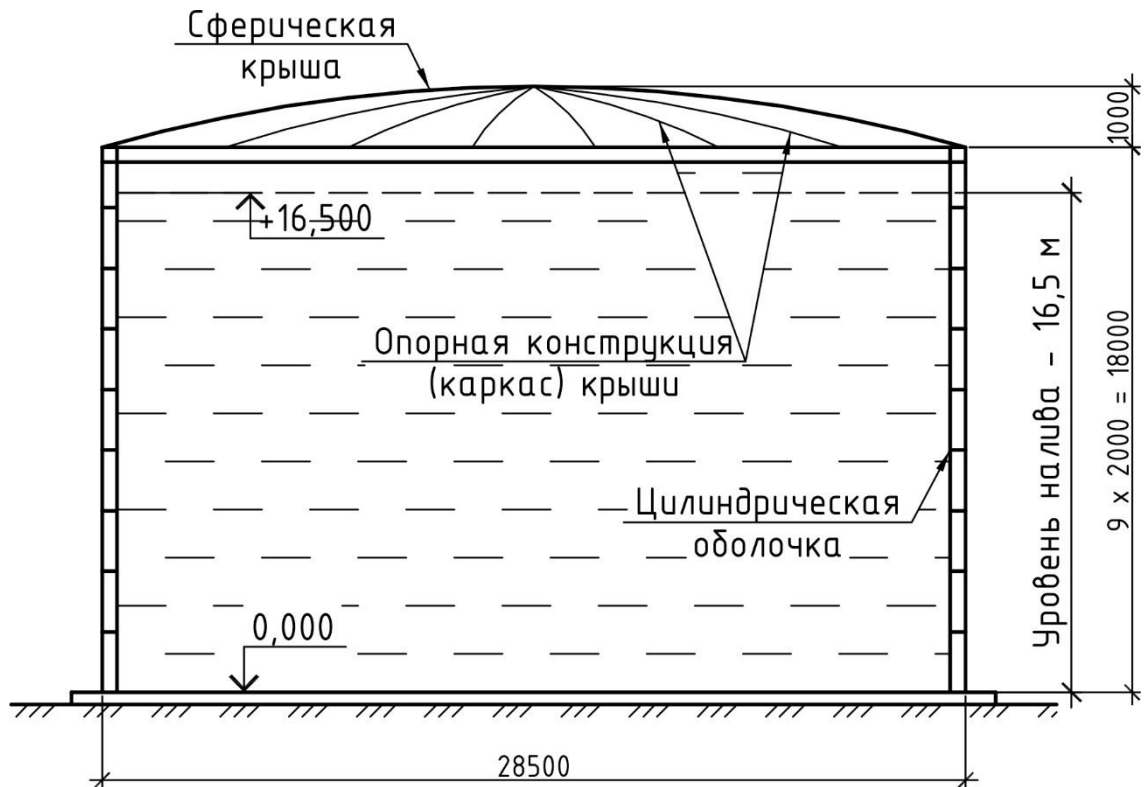


Рисунок 1 – Схема резервуара

Таблица 1 – Гидростатическая нагрузка на стенку резервуара

Номер пояса	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Гидростатическое давление в уровне низа пояса, кН/м ²	145,2	127,6	110,0	92,4	74,8	57,2	39,6	22,0	4,4

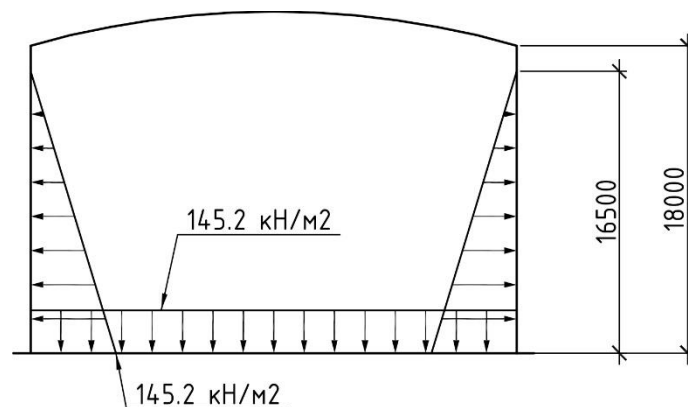


Рисунок 2 – Схема приложения гидростатической нагрузки

2.2 Нагрузка от внутреннего (избыточного) давления – 50 кПа.

2.3 Необходимость учета температурных воздействий – отсутствует.

2.4 Нагрузки от собственного веса определяются согласно указаниям СП РК EN 1991-1-1. Согласно Пункта 5.1 (4) EN 1991-1-1 в нагрузках от собственного веса (кроме собственного веса строительных конструкций резервуара) должны также учитываться собственный вес вспомогательных конструкций и технологического оборудования, постоянно закрепленного к резервуару.

НТП РК 03-04-2.1-2012

Принятая в примере нагрузка на кровлю – 1 кПа, в т.ч.:

– от собственного веса – 0,4 кПа;

– от веса технологического оборудования – 0,4 кПа.

Принятая в примере нагрузка на стенку – 0,6 кПа.

Принятая в примере нагрузка на кровлю – 0,4 кПа.

2.5 Нагрузки от изоляции – отсутствуют.

2.6 Снеговая нагрузка – определяется согласно указаниям СП РК EN 1991-1-3; в примере принято расчетное значение 1,4 кПа, нагрузка принята равномерно распределенной по всей поверхности крыши.

2.7 Ветровая нагрузка – определяется согласно указаниям СП РК EN 1991-1-4 с уточнениями, приведенными в Приложении А СП РК EN 1991-4-2. Расчет ветровой нагрузки на резервуар – см. Пункт 2.12.

2.8 Вакуум – отсутствует.

2.9 Нагрузки от дополнительного воздействия оборудования (Пункт А.2.12 СП РК EN 1991-4-2) – не учитываются.

2.10 Нагрузки от неравномерной осадки – не учитываются.

2.11 Аварийные нагрузки – не учитываются.

2.12 Расчет ветровой нагрузки на конструкцию цилиндрического резервуара

2.12.1 Исходные данные.

Высота цилиндрического резервуара $H = 18,0$ м;

Диаметр резервуара $d_c = 28,5$ м;

Плотность воздуха $\rho = 1,25$ кг/м³ (см. Примечание 2 к Пункту 4.5(1) СП РК EN 1991-1-4);

Тип поверхности – сталь со светлой поверхностью.

Эквивалентная шероховатость поверхности (Таблица 7.13 СП РК EN 1991-1-4) $k = 0,05$ мм.

Конструкция резервуара условно разбивается на участки (сегменты). В пределах каждого участка ветровая нагрузка принимается равномерно распределенной. Число сегментов разбиения в плане $n_\theta = 12$. Число участков разбиения по высоте $n_h = 9$. Схема резервуара изображена на Рисунке 3.

2.12.2 Расчет ветровой нагрузки на стенку цилиндрического резервуара

Расчет выполняется в соответствии с указаниями Пункта 5.3 СП РК EN 1991-1-4. Ветровая нагрузка определяется по Формуле 5.3 СП РК EN 1991-1-4:

$$F_w = c_s \cdot c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref},$$

где $c_s c_d$ – конструкционный коэффициент, принимаемый в соответствии с указаниями Раздела 6 СП РК EN 1991-1-4; в данном примере принято значение $c_s c_d = 1$.

c_f – силовой коэффициент, принимаемый в соответствии с указаниями Раздела 7 СП РК EN 1991-1-4.

$q_p(z_e)$ – пиковое значение скоростного напора ветра на высоте z_e по Пункту 7 или 8 СП РК EN 1991-1-4;

A_{ref} – базовая площадь конструкции или конструктивного элемента.

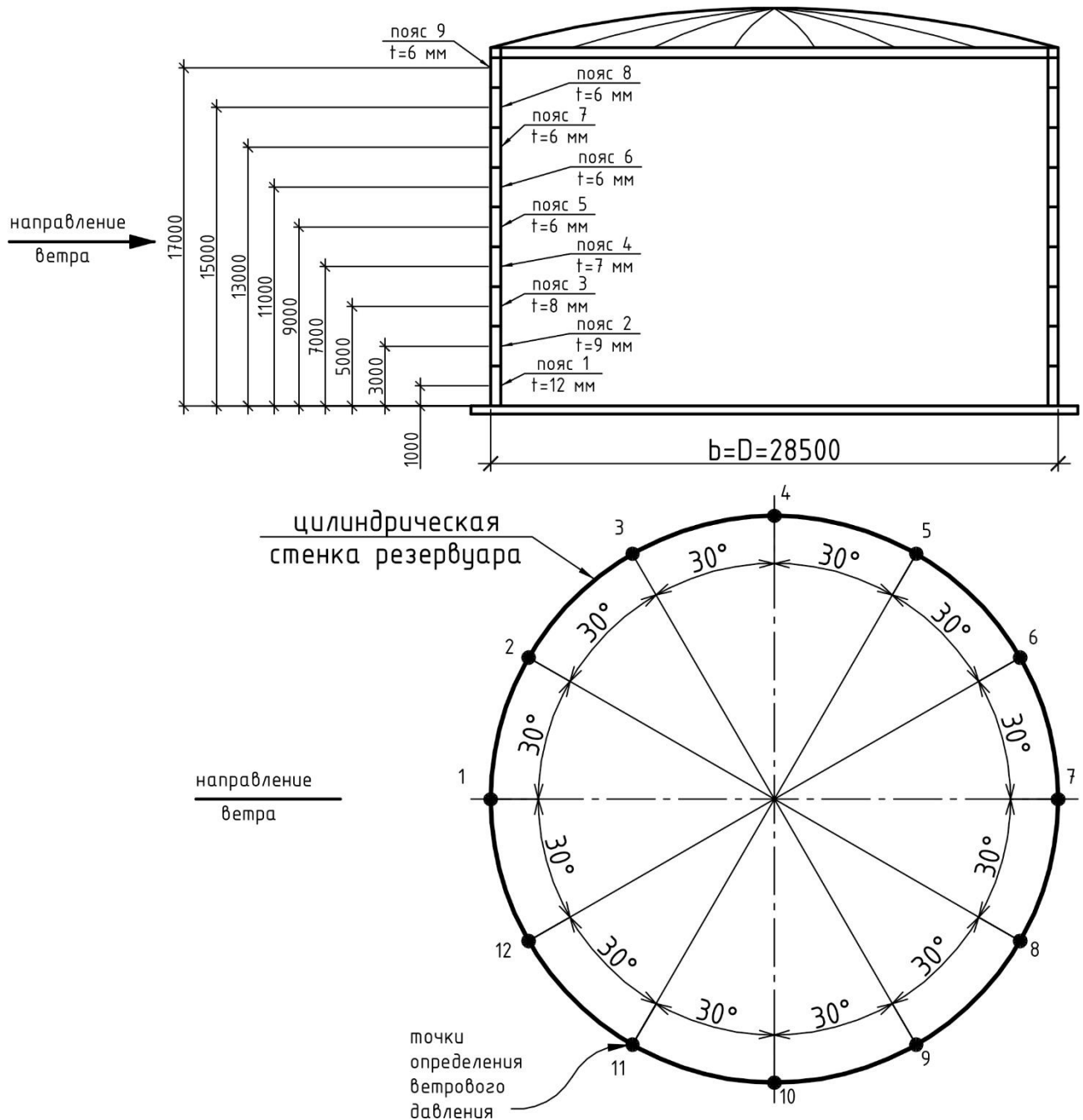


Рисунок 3 – Схема резервуара для определения ветровой нагрузки

2.12.2.1 Расчет аэродинамических коэффициентов

Согласно Пункту 7.1(1) СП РК EN 1991-1-4 при расчете ветровой нагрузки необходимо учитывать следующие коэффициенты:

а) коэффициенты внутреннего и внешнего давления (Пункт 7.1.1(1) СП РК EN 1991-1-4);
 б) коэффициенты давления для гибких конструкций (net pressure coefficients) (Пункт 7.1.1(2) СП РК EN 1991-1-4);

в) коэффициенты трения (Пункт 7.1.1(3) СП РК EN 1991-1-4);

г) силовые коэффициенты (Пункт 7.1.1(4) СП РК EN 1991-1-4).

2.12.2.2 Коэффициенты внутреннего и внешнего давления

Аэродинамические коэффициенты давления для цилиндрических оболочек определяются в соответствии с указаниями Пунктов 7.2.9 (для внутренних поверхностей) и 7.9.1 (для наружных

НТП РК 03-04-2.1-2012

поверхностей) СП РК EN 1991-1-4 с учетом уточнений, приведенных в Приложении А СП РК EN 1991-4-2. В данном примере определяем только аэродинамические коэффициенты для наружной поверхности.

2.12.2.2.1 Определение числа Рейнольдса по Формуле 7.15 СП РК EN 1991-1-4:

$$Re = \frac{b \cdot v(z_e)}{\nu}$$

где b – диаметр резервуара, $b = 28,5$ м;

ν – кинематическая вязкость воздуха; $\nu = 15 \cdot 10^{-6}$ м²/с;

$v(z_e)$ – пиковое значение скорости ветра, определяемое по Примечанию 2 к Рисунку 7.27 СП РК EN 1991-1-4 в зависимости от высоты z_e .

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot q_p}{\rho}}$$

Величина q_p определяется по Формуле 4.8 в зависимости от высоты z

$$q_p(z) = c_e(z) \cdot q_b$$

$c_e(z)$ – коэффициент, зависящий от высоты и определяемый по Графику 4.2 СП РК EN 1991-1-4;

q_b – базовый ветровой напор, определяемый по Формуле 4.10 СП РК EN 1991-1-4:

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 6^2 = 22,5 \frac{\text{кг}}{\text{м} \cdot \text{с}^2}$$

v_b – скорость ветра, определяемая согласно указаниям Пункта 4.2(2) СП РК EN 1991-1-4; в примере принята равной 6 м/с.

Принимаем категорию местности 3 (см. Таблицу 4.1 СП РК EN 1991-1-4) и определяем значения $c_e(z)$ графика 4.2 СП РК EN 1991-1-4.

Для 1-го пояса

$$q_p(z_1) = c_e(z_1) \cdot q_b = 1,28 \cdot 22,5 = 28,8 \frac{\text{кг}}{\text{м} \cdot \text{с}^2}$$

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot q_p(z_1)}{\rho}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 28,8}{1,25}} = 6,788 \text{ м/с}$$

$$Re(z_1) = \frac{b \cdot v(z_e)}{\nu} = \frac{28,5 \cdot 6,788}{15 \cdot 10^{-6}} = 12,90 \cdot 10^6$$

Для остальных поясов резервуара значения Re определяются аналогично.

Результаты определения числа Рейнольдса Re для различных поясов резервуара приведены в Таблице 2.

2.12.2.2.2 Определение коэффициентов давления

Коэффициенты давления определяются по Формуле 7.16 СП РК EN 1991-1-4:

$$c_{pe} = c_{p,0} \cdot \psi_{\lambda\alpha}$$

где $c_{p,0}$ – коэффициент давления без учета завихрений; определяется по графику 7.27 СП РК EN 1991-1-4 в зависимости от угла α ;

$\psi_{\lambda\alpha}$ – коэффициент, учитывающий завихрения воздуха; определяется по Формуле 7.17 СП РК EN 1991-1-4.

Таблица 2 – Значения числа Рейнольдса для поясов резервуара

№ пояса	Отметка середины пояса z_e , м	$c_e(z)$	$qp(z)$, кг/мс ²	Пиковое значение скорости ветра $v(z_e)$, м/с	Число Рейнольдса Re , 10^6
1	1	1,28	28,8	6,788	12,90
2	3	1,28	28,8	6,788	12,90
3	5	1,28	28,8	6,788	12,90
4	7	1,45	32,625	7,225	13,73
5	9	1,68	37,8	7,777	14,78
6	11	1,73	38,925	7,892	14,99
7	13	1,86	41,85	8,183	15,55
8	15	1,98	44,55	8,443	16,04
9	17	2,07	46,575	8,632	16,40

Расчет выполним с шагом угла α по окружности равным $\Delta\alpha = 30^\circ$. Дополнительные значения определим для углов $\alpha_{\min}$ (минимальное значение) и α_A (см. Формулу 7.17 и Рисунок 7.27 СП РК EN 1991-1-4). Принимаем по Рисунку 7.27 значения $\alpha_{\min} = 75^\circ$ и $\alpha_A = 100^\circ$.

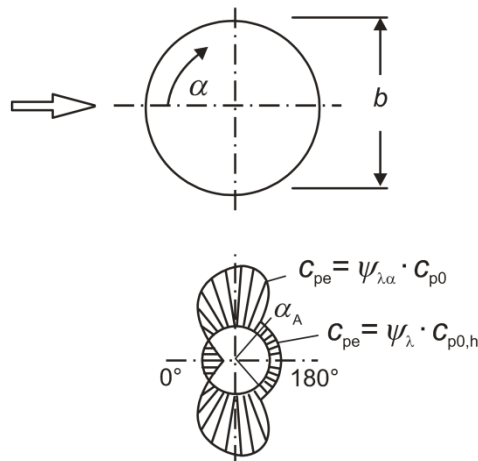


Рисунок 4 – К расчету коэффициентов давления

Для расчета значений $\psi_{\lambda\alpha}$ предварительно определим величину ψ_{λ} , которая определяется по

Определяем значения c_{pe} для различных значений угла α .

При $\alpha = 0^\circ$

$$c_{p,0} = +1,0$$

$$\psi_{\lambda\alpha} = 1$$

$$c_{pe} = c_{p,0} \cdot \psi_{\lambda\alpha} = (+1,0) \cdot 1 = +1,0$$

При $\alpha = 30^\circ$

$$c_{p,0} = +0,1$$

$$\psi_{\lambda\alpha} = 1$$

$$c_{pe} = c_{p,0} \cdot \psi_{\lambda\alpha} = (+0,1) \cdot 1 = +0,1$$

При $\alpha = 60^\circ$

$$c_{p,0} = -1,2$$

$$\psi_{\lambda\alpha} = 1$$

$$c_{pe} = c_{p,0} \cdot \psi_{\lambda\alpha} = (-1,2) \cdot 1 = -1,2$$

При $\alpha = 75^0$

$$c_{p,0} = -1,4$$

$$\psi_{\lambda a} = \psi_{\lambda} + (1 - \psi_{\lambda}) \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} \cdot \left(\frac{\alpha - \alpha_{\min}}{\alpha_A - \alpha_{\min}}\right)\right) = 0,92 + (1 - 0,92) \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} \cdot \left(\frac{75^{\circ} - 75^{\circ}}{100^{\circ} - 75^{\circ}}\right)\right) = 1$$

$$c_{pe} = c_{p,0} \cdot \psi_{\lambda a} = (-1,4) \cdot 1 = -1,4$$

При $\alpha = 90^0$

$$c_{p,0} = -1,3$$

$$\begin{aligned} \psi_{\lambda a} &= \psi_{\lambda} + (1 - \psi_{\lambda}) \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} \cdot \left(\frac{\alpha - \alpha_{\min}}{\alpha_A - \alpha_{\min}}\right)\right) = 0,92 + (1 - 0,92) \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} \cdot \left(\frac{90^{\circ} - 75^{\circ}}{100^{\circ} - 75^{\circ}}\right)\right) \\ &= 0,9670 \end{aligned}$$

$$c_{pe} = c_{p,0} \cdot \psi_{\lambda a} = (-1,3) \cdot 0,9670 = -1,257$$

При $\alpha = 100^0$

$$c_{p,0} = -0,8$$

$$\psi_{\lambda a} = \psi_{\lambda} + (1 - \psi_{\lambda}) \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} \cdot \left(\frac{\alpha - \alpha_{\min}}{\alpha_A - \alpha_{\min}}\right)\right) = 0,92 + (1 - 0,92) \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} \cdot \left(\frac{100^{\circ} - 75^{\circ}}{100^{\circ} - 75^{\circ}}\right)\right) = 0,92$$

$$c_{pe} = c_{p,0} \cdot \psi_{\lambda a} = (-0,8) \cdot 0,92 = -0,736$$

При $\alpha = 120^0$

$$c_{p,0} = -0,8$$

$$\begin{aligned} \psi_{\lambda a} &= \psi_{\lambda} + (1 - \psi_{\lambda}) \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} \cdot \left(\frac{\alpha - \alpha_{\min}}{\alpha_A - \alpha_{\min}}\right)\right) = 0,92 + (1 - 0,92) \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} \cdot \left(\frac{120^{\circ} - 75^{\circ}}{100^{\circ} - 75^{\circ}}\right)\right) \\ &= 0,8439 \end{aligned}$$

$$c_{pe} = c_{p,0} \cdot \psi_{\lambda a} = (-0,8) \cdot 0,8439 = -0,6751$$

При $\alpha = 150^0$

$$c_{p,0} = -0,8$$

$$\psi_{\lambda a} = \psi_{\lambda} + (1 - \psi_{\lambda}) \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} \cdot \left(\frac{\alpha - \alpha_{\min}}{\alpha_A - \alpha_{\min}}\right)\right) = 0,92 + (1 - 0,92) \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} \cdot \left(\frac{150^{\circ} - 75^{\circ}}{100^{\circ} - 75^{\circ}}\right)\right) = 0,92$$

$$c_{pe} = c_{p,0} \cdot \psi_{\lambda a} = (-0,8) \cdot 0,92 = -0,736$$

При $\alpha = 180^0$

$$c_{p,0} = -0,8$$

$$\begin{aligned} \psi_{\lambda a} &= \psi_{\lambda} + (1 - \psi_{\lambda}) \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} \cdot \left(\frac{\alpha - \alpha_{\min}}{\alpha_A - \alpha_{\min}}\right)\right) = 0,92 + (1 - 0,92) \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} \cdot \left(\frac{180^{\circ} - 75^{\circ}}{100^{\circ} - 75^{\circ}}\right)\right) \\ &= 0,9961 \end{aligned}$$

$$c_{pe} = c_{p,0} \cdot \psi_{\lambda a} = (-0,8) \cdot 0,9961 = -0,7969$$

Схема распределения коэффициентов c_{pe} по окружности резервуара приведена на Рисунке 5.

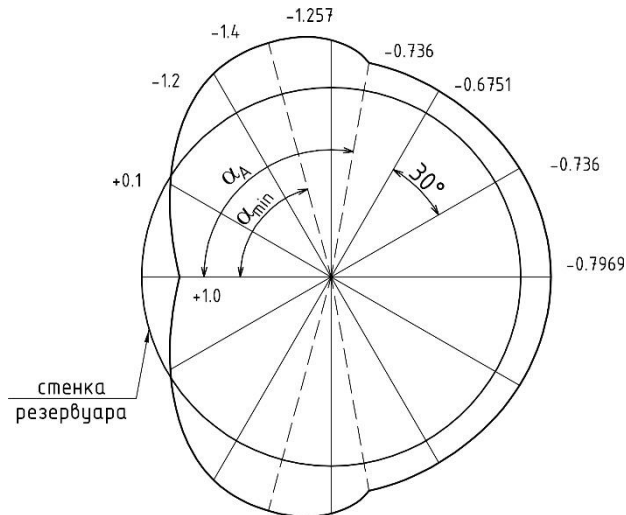


Рисунок 5 – Схема распределения коэффициентов c_{pe} по окружности резервуара

2.12.2.3 Коэффициенты давления для гибких конструкций (net pressure coefficients)

Коэффициенты давления для гибких конструкций (net pressure coefficients) согласно Пункту 7.1.1(2) СП РК EN 1991-1-4 должны учитываться для тканевых навесов, тентов, свободно стоящих стен (поверхностей, парапетов и заборов). Для резервуара данные коэффициенты не учитываются.

2.12.2.4 Коэффициенты трения – не учитываются.

2.12.2.5 Силовые коэффициенты c_f

Силовые коэффициенты c_f для цилиндрических оболочек определяются в соответствии с указаниями Пункта 7.9.2 СП РК EN 1991-1-4.

Силовые коэффициенты определяются по Формуле 7.19 СП РК EN 1991-1-4:

$$c_f = c_{f,0} \cdot \psi_\lambda$$

где $c_{f,0}$ – силовая постоянная без учета завихрений; определяется по графику 7.28 СП РК EN 1991-1-4 в зависимости от числа Рейнольдса (см. Пункт 2.1.1) и отношения k/b ;

ψ_λ – коэффициент, учитывающий завихрения воздуха; определяется по графику 7.36 СП РК EN 1991-1-4 в зависимости от значений величин λ (см. Таблицу 7.16 СП РК EN 1991-1-4) и φ (см. формулу 7.28 СП РК EN 1991-1-4).

Определяем отношение k/b .

При числе Рейнольдса более 10^7 и отношении

$$\frac{k}{b} = \frac{0,05}{28,5} = 1,754 \cdot 10^{-3}$$

значение коэффициента $c_{f,0}$ определяем при помощи линейной интерполяции

$$\begin{aligned} c_{f,0}(Re = 10^{-2}) &= 1,07 & c_{f,0}(Re = 10^{-3}) &= 0,94 \\ c_{f,0}(Re = 1,754 \cdot 10^{-3}) &= \frac{1,07 - 0,94}{10^{-2} - 10^{-3}} \cdot (1,754 \cdot 10^{-3} - 10^{-3}) + 0,94 = 0,9509 \end{aligned}$$

Определяем ψ_λ . Принимаем $\varphi = 1$ (поскольку площадь проекции резервуара равна сумме площадей элементов резервуара, находящихся в ветровом потоке).

Величину λ определяем по Таблице 7.16 СП РК EN 1991-1-4. Для Пункта 4 в Таблице 7.16 и общей высоты резервуара 19 м используем линейную интерполяцию, как рекомендовано в таблице.

При $b = 28,5$ м и $l = 19$ м получаем:

$$\text{для } l = 50 \text{ м} \quad \lambda_{50} = 0,7 \cdot \frac{l}{b} = 0,7 \cdot \frac{50}{28,5} = 1,228 < 70$$

Принимаем $\lambda_{50} = 70$.

$$\text{для } l = 15 \text{ м} \quad \lambda_{15} = \frac{l}{b} = \frac{15}{28,5} = 0,526 < 70$$

Принимаем $\lambda_{15} = 70$.

Окончательно принимаем $\lambda = 70$.

По графику 7.36 СП РК EN 1991-1-4 принимаем $\psi_\lambda = 0,92$ при $\lambda = 70$ и $\varphi = 1$.

Силовой коэффициент c_f :

$$c_f = c_{f,0} \cdot \psi_\lambda = 0,9509 \cdot 0,92 = 0,8748$$

2.12.2.6 Пиковое значение скоростного напора ветра на высоте z_e $q_p(z_e)$ – принимаем из расчета числа Рейнольдса по Пункту 2.1.1.1.

2.12.2.7 Расчет базовой площади

Базовая площадь конструктивного элемента определяется по Формуле (7.20), Пункт 7.9.2 СП РК EN 1991-1-4

$$A_{\text{ref}} = l \cdot b = 2 \cdot 28,5 = 57 \text{ м}^2$$

где l – высота сегмента; $l = 2 \text{ м}$.

2.12.2.8 Расчет ветровой нагрузки, действующей на конструкцию или сооружение в целом

$$F_w = c_s \cdot c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{\text{ref}} = 1 \cdot 0,8748 \cdot q_p(z_e) \cdot 57 = 49,86 \cdot q_p(z_e)$$

Для 1-го пояса

$$F_{w1} = 49,86 \cdot q_p(z_e) = 49,86 \cdot 28,8 = 1436 \text{ кг} = 14,36 \text{ кН}$$

Для 2-го пояса

$$F_{w2} = 49,86 \cdot q_p(z_e) = 49,86 \cdot 28,8 = 1436 \text{ кг} = 14,36 \text{ кН}$$

Для 3-го пояса

$$F_{w3} = 49,86 \cdot q_p(z_e) = 49,86 \cdot 28,8 = 1436 \text{ кг} = 14,36 \text{ кН}$$

Для 4-го пояса

$$F_{w4} = 49,86 \cdot q_p(z_e) = 49,86 \cdot 32,625 = 1627 \text{ кг} = 16,27 \text{ кН}$$

Для 5-го пояса

$$F_{w5} = 49,86 \cdot q_p(z_e) = 49,86 \cdot 37,8 = 1885 \text{ кг} = 18,85 \text{ кН}$$

Для 6-го пояса

$$F_{w6} = 49,86 \cdot q_p(z_e) = 49,86 \cdot 38,925 = 1941 \text{ кг} = 19,41 \text{ кН}$$

Для 7-го пояса

$$F_{w7} = 49,86 \cdot q_p(z_e) = 49,86 \cdot 41,85 = 2087 \text{ кг} = 20,87 \text{ кН}$$

Для 8-го пояса

$$F_{w8} = 49,86 \cdot q_p(z_e) = 49,86 \cdot 44,55 = 2221 \text{ кг} = 22,21 \text{ кН}$$

Для 9-го пояса

$$F_{w9} = 49,86 \cdot q_p(z_e) = 49,86 \cdot 46,575 = 2322 \text{ кг} = 23,22 \text{ кН}$$

2.12.2.9 Расчет ветровой нагрузки для численного расчета

Ветровая нагрузка для задания в численном расчете определяется на единицу площади поверхности резервуара и представляет собой ветровую нагрузку, определенную по Формуле 5.3 СП РК EN 1991-1-4 без учета базовой площади A_{ref} , т.е.:

$$W = \frac{F_w}{A_{\text{ref}}} = c_s \cdot c_d \cdot c_{\text{aer}} \cdot q_p(z_e)$$

где $c_{\text{aer}} = c_p \cdot c_f$

Расчет давлений на единицу площади по каждому поясу сведен в Таблицу 3.

Схемы приложения ветровой нагрузки на стенку резервуара приведены на Рисунках 6–12.

Таблица 3 – Давление на стенку резервуара от ветровой нагрузки

№ пояса	$q_p(z)$,	Давление на стенку резервуара, кг/м ²
		Угол

	$\frac{\text{кг}}{\text{м}^2}$	0°	30°	60°	75°	90°	100°	120°	150°	180°
		Коэффициент c_p								
		1	0.1	-1.2	-1.4	-1.257	-0.736	-	-0.736	-
								0.6751	-	0.7969
1	28,8	25,19	2,52	-30,23	-35,27	-31,67	-18,54	-17,01	-18,54	-20,08
2	28,8	25,19	2,52	-30,23	-35,27	-31,67	-18,54	-17,01	-18,54	-20,08
3	28,8	25,19	2,52	-30,23	-35,27	-31,67	-18,54	-17,01	-18,54	-20,08
4	32,625	28,54	2,85	-34,25	-39,96	-35,88	-21,01	-19,27	-21,01	-22,74
5	37,8	33,07	3,31	-39,68	-46,29	-41,57	-24,34	-22,32	-24,34	-26,35
6	38,925	34,05	3,41	-40,86	-47,67	-42,8	-25,06	-22,99	-25,06	-27,14
7	41,85	36,61	3,66	-43,93	-51,25	-46,02	-26,95	-24,72	-26,95	-29,17
8	44,55	38,97	3,9	-46,77	-54,56	-48,99	-28,68	-26,31	-28,68	-31,06
9	46,575	40,74	4,07	-48,89	-57,04	-51,21	-29,99	-27,51	-29,99	-32,47

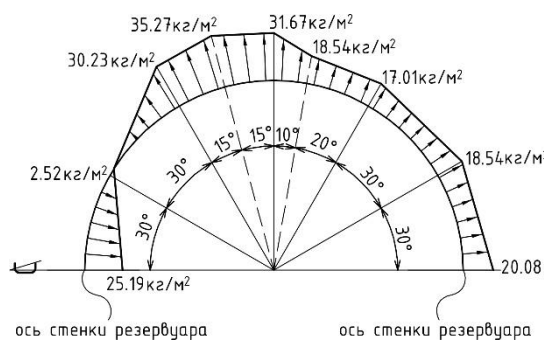


Рисунок 6 – Схема приложения ветровой нагрузки на 1-3 пояса стенки резервуара

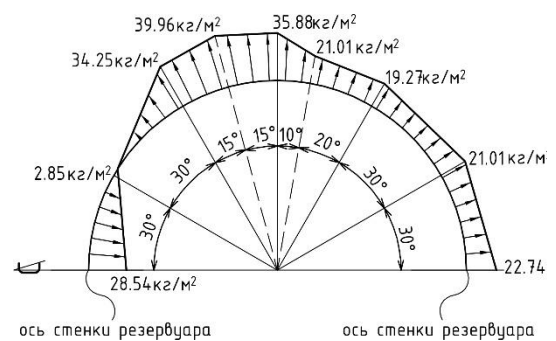


Рисунок 7 – Схема приложения ветровой нагрузки на 4-й пояс стенки резервуара

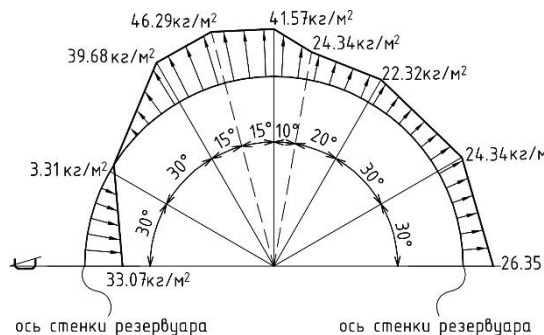


Рисунок 8 – Схема приложения ветровой нагрузки на 5-й пояс стенки резервуара

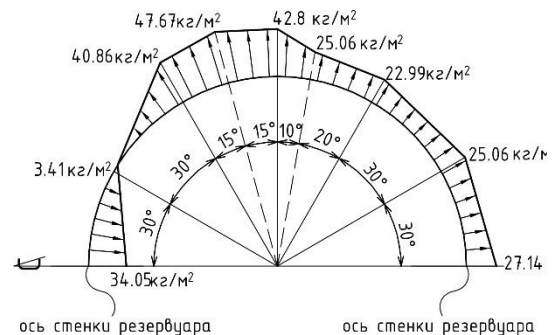


Рисунок 9 – Схема приложения ветровой нагрузки на 6-й пояс стенки резервуара

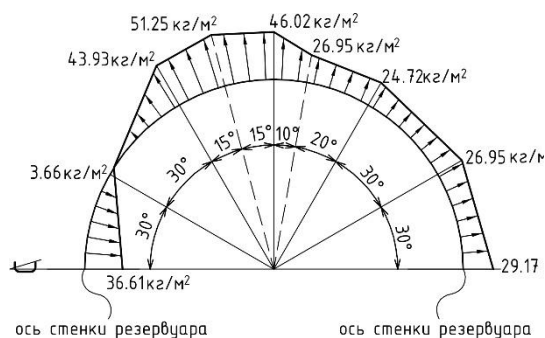


Рисунок 10 – Схема приложения ветровой нагрузки на 7-й пояс стенки резервуара

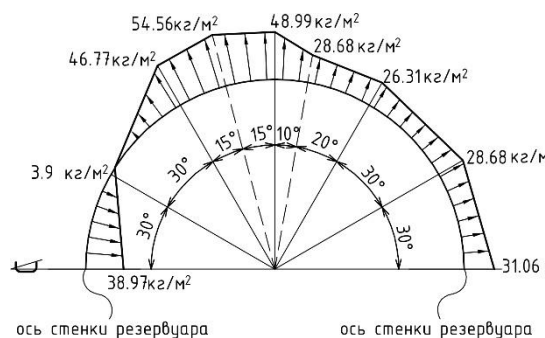


Рисунок 11 – Схема приложения ветровой нагрузки на 8-й пояс стенки резервуара

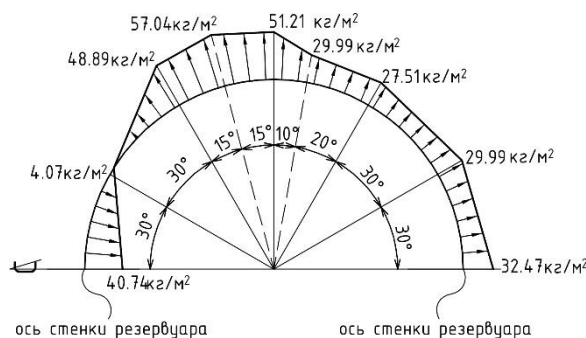


Рисунок 12 – Схема приложения ветровой нагрузки на 9-й пояс стенки резервуара

2.12.3 Расчет ветровой нагрузки на крышу цилиндрического резервуара

Расчет ветровой нагрузки на крышу резервуара производится аналогично стенке, за исключением определения коэффициентов давления s_{pe} . Коэффициенты давления ветровой нагрузки s_{pe} на крышу резервуара определяются согласно Пункту 7.2.8 СП РК EN 1991-1-4 по графику 7.12 СП РК EN 1991-1-4 в зависимости от высоты, диаметра и стрелы подъема крыши резервуара. Схема распределения ветровой нагрузки по крыше резервуара приведена на Рисунке 13.

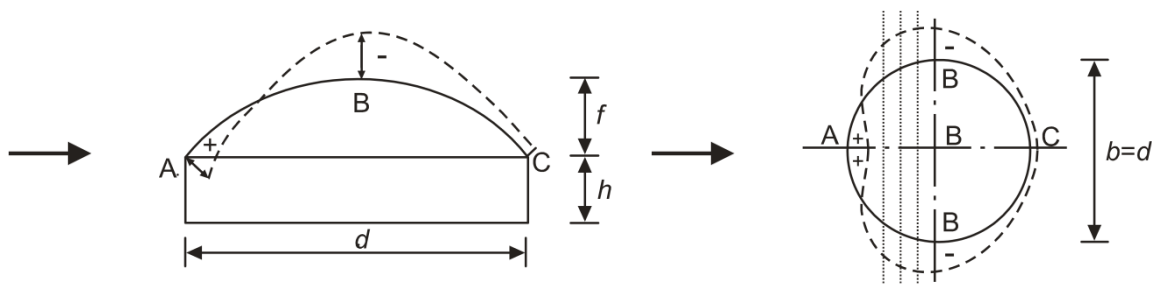


Рисунок 13 – Схема распределения ветрового давления по крыше резервуара

При диаметре резервуара $b = d = 28,5$ м, высоте резервуара $h = 18$ м и стреле подъема крыши резервуара $f = 1$ м определяются значения коэффициентов А, В и С по Рисунку (графику) 7.12 СП РК EN 1991-1-4. При соотношениях

$$h/d = 18/28,5 = 0,6316$$

$$f/d = 1/28,5 = 0,0351$$

Значения $A = -1,4$, $B = -0,48$, $C = -0,48$.

Соответственно значения нагрузки на крышу резервуара в граничных точка (по краям и

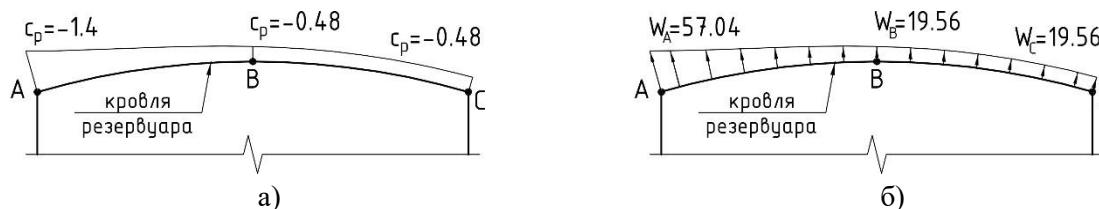
посередине крыши) составляет:

$$W_A = c_s \cdot c_d \cdot c_f \cdot c_{pA} \cdot q_p(z_e) = 1 \cdot 0,8748 \cdot (-1,4) \cdot 46,575 = -57,04 \text{ кг/м}^2$$

$$W_B = c_s \cdot c_d \cdot c_f \cdot c_{pB} \cdot q_p(z_e) = 1 \cdot 0,8748 \cdot (-0,48) \cdot 46,575 = -19,56 \text{ кг/м}^2$$

$$W_C = c_s \cdot c_d \cdot c_f \cdot c_{pC} \cdot q_p(z_e) = 1 \cdot 0,8748 \cdot (-0,48) \cdot 46,575 = -19,56 \text{ кг/м}^2$$

Схема приложения ветровой нагрузки на крышу резервуара приведена на Рисунке 14.



а – распределение коэффициентов давления;

б – распределение значений нагрузки (кг/м^2)

Рисунок 14 – Схема приложения ветровой нагрузки на крышу резервуара

3 Расчетные ситуации

Расчетные ситуации (комбинации воздействий) согласно Пункту В.4(1)Р принимаются по общим требованиям Раздела 6 СП РК EN 1990.

Также необходимо соблюдать требования и рекомендации Раздела 2 СП РК EN 1993-4-2, в котором указаны три расчетных ситуации (см. Таблицу 2.1):

- а) нагрузки, вызванные жидкостью в процессе нормальной эксплуатации;
- б) нагрузки, вызванные жидкостью в процессе испытания;
- в) случайные (аварийные) ситуации.

Для каждой расчетной ситуации установлены соответственные частные коэффициенты надежности.

В данном примере рассматривается только расчетная ситуация 1 (см. Таблицу 2.1 СП РК EN 1993-4-2) «Нагрузки, вызванные жидкостью в процессе нормальной эксплуатации». Значения нагрузки от жидкости согласно Пункту А.2.1.1 СП РК EN 1993-4-2 и Пункту В.2.1(1)Р СП РК EN 1991-4 принято переменным от нуля до максимального значения.

Значение расчетного усилия определяется по Формуле 6.9b СП РК EN 1990

$$N_p = \gamma_G N_G + \gamma_{Q1} N_{Q1} + \gamma_{Q2} N_{Q2} \psi_{0,2}$$

где N_G – усилие от постоянной нагрузки;

N_{Q1} – усилие от основной переменной нагрузки;

N_{Q2} – усилие от сопутствующей переменной нагрузки;

$\gamma_G, \gamma_{Q1}, \gamma_{Q2}, \psi_{0,2}$ – частные коэффициенты надежности по нагрузкам.

Значения частных коэффициентов надежности по нагрузке γ_F ($\gamma_G, \gamma_{Q1}, \gamma_{Q2}$) принято:

- а) для постоянных нагрузок – по Таблице 2.1 СП РК EN 1993-4-2 $\gamma_F = 1,35$;
- б) для гидростатических нагрузок – по Пункту В.3(2) СП РК EN 1991-4 $\gamma_F = 1,20$;
- в) для снеговых и ветровых нагрузок – по СП РК EN 1990 $\gamma_F = 1,50$.

Значения коэффициентов сочетаний ψ принимаются согласно указаниям СП РК EN 1990 и соответствующих частей СП РК EN 1991. Для целей данного примера значения коэффициентов сочетаний ψ приняты равным рекомендуемым в Приложении А СП РК EN 1990:

а) снеговые нагрузки – $\psi_0 = 0,5, \psi_1 = 0,2, \psi_2 = 0,0$;

а) ветровые нагрузки – $\psi_0 = 0,6, \psi_1 = 0,2, \psi_2 = 0,0$;

ПРИМЕЧАНИЕ 1 Согласно Пункту В.3(2) СП РК EN 1991-4 для гидростатической нагрузки

при нормальной эксплуатации установлен частный коэффициент надежности $\gamma_F = 1,20$.

ПРИМЕЧАНИЕ 2 Согласно Таблице 2.1 СП РК EN 1993-4-2 для гидростатической нагрузки в зависимости от вида жидкости (расчетная ситуация 1 в Таблице 2.1) частный коэффициент надежности γ_F варьируется в пределах $\gamma_F = 1,20 \dots 1,40$.

Необходимо выполнить согласование вышеуказанных документов на уровне Национальных Приложений.

Для целей данного примера условно принято значение $\gamma_F = 1,20$.

В данном примере согласно Приложению А СП РК EN 1993-4-2 были рассмотрены две расчетных ситуации при эксплуатации резервуара – наполненный и пустой резервуар:

а) «собственный вес + гидростатическая нагрузка + изб. давление + снег»;

б) «собственный вес + ветер».

4 Расчет равнодействующих напряжений

Расчет конструкций резервуара проводился согласно указаний Пункта 4.2.2.3.1. Т.к. резервуар относится к классу последствий 2, то расчет выполнен с использованием численных методов расчета с использованием ПК Lira Soft (см. Пункт 4.2.2.3.1, б).

4.1 Пространственный расчет цилиндрического резервуара с применением МКЭ для определения равнодействующих напряжений.

Расчетная схема резервуара представляет собой пространственную тонкостенную конструкцию, состоящую из трех конструктивных элементов (сферическая крыша, цилиндрическая стенки, плоское днище), установленную на отм. 0.000 м.

Моделирование элементов оболочки резервуара производилось с применением КЭ 44 (универсальный четырехугольный конечный элемент оболочки в ПК Lira).

Определение напряжений в элементах бункера производилось на два расчетных сочетаний нагрузок с частными коэффициентами надежности, принятыми согласно СП РК EN 1991-4 и СП РК EN 1993-4-2 (см. Пункт 3):

– сочетание 1 – «собственный вес + гидростатическая нагрузка + изб. давление + снег»;

– сочетание 2 – «собственный вес + ветер».

Определение напряжений в элементах резервуара производилось для каждого сочетания, при этом нагрузки задавались одновременно вместе с коэффициентами сочетаний.

Расчетная схема резервуара представлена на Рисунке 15, деформированная схема от действия гидростатической нагрузки – на Рисунке 16, деформированная схема от действия ветровой нагрузки – на Рисунке 17, деформированная схема по сочетанию 1 – на Рисунке 18, деформированная схема по сочетанию 2 – на Рисунке 19.

По результатам статического расчета получены нормальные напряжения и изгибные моменты в элементах резервуара.

Распределение нормальных кольцевых напряжений в стенке цилиндра от действия нагрузок первого расчетного сочетания приведены на Рисунке 20а, от второго расчетного сочетания – на Рисунке 20б. Распределение нормальных меридиональных напряжений в стенке цилиндра от действия нагрузок первого расчетного сочетания приведены на Рисунке 21а, от второго расчетного сочетания – на Рисунке 21б. Нормальные напряжения в оболочке по результатам статического расчета получены в кН/см^2 .

Для перехода от значений напряжений, полученных при статическом расчете (значения напряжений получены в кН/см^2 для заданных толщин стенки) к расчетным значениям напряжений, используемых в дальнейшем для проверки прочности и устойчивости элементов стенки резервуара, были сформированы Таблицы 4, 5. В указанные таблицы выписаны максимальные напряжения в отдельных поясах резервуара. Результаты представлены в виде компонентов напряженного состояния оболочки, путем перехода от напряжений при конкретной толщине оболочки к

напряжения на сантиметр толщины оболочки.

Напряжения в элементах оболочки приведены отдельно для двух расчетных сочетаний, поскольку для разных элементов резервуара максимальные напряжения не совпадают. Наиболее неблагоприятной является расчетная ситуация 1, на усилие от которой и будет выполняться расчет поясов резервуара.

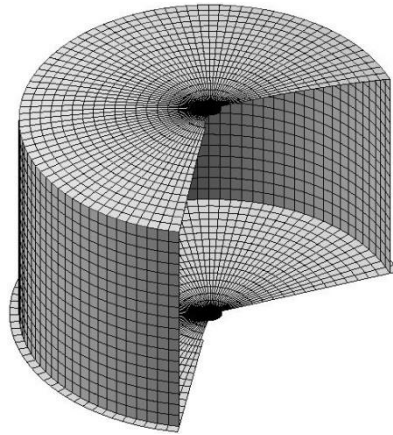


Рисунок 15 – Расчетная схема резервуара в среде Lira Soft

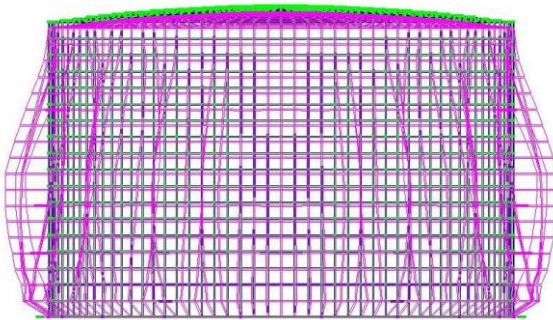


Рисунок 16 – Деформированная схема от действия гидростатической нагрузки

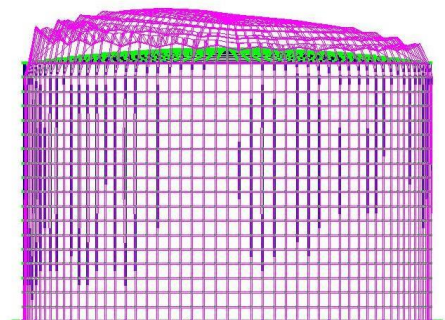


Рисунок 17 – Деформированная схема от действия ветровой нагрузки

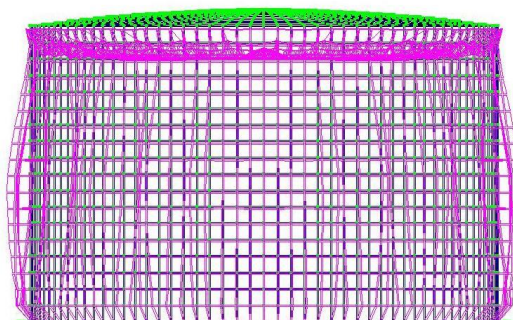


Рисунок 18 – Деформированная схема по сочетанию 1

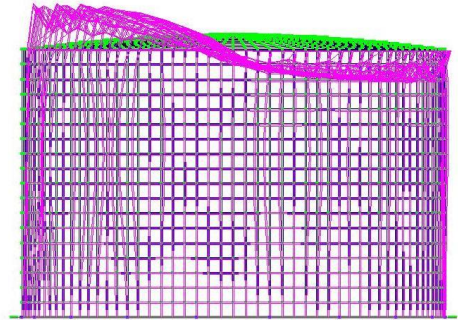


Рисунок 19 – Деформированная схема по сочетанию 2

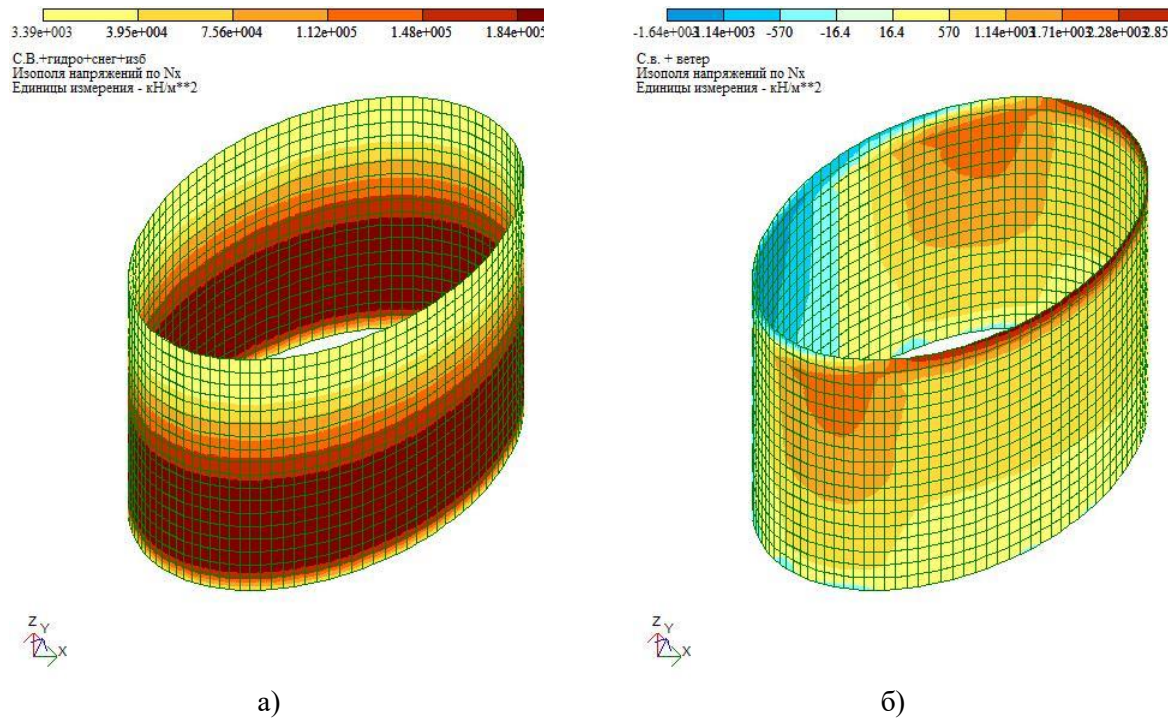


Рисунок 20 – Распределение нормальных кольцевых напряжений в стенке цилиндра от действия нагрузок: а – сочетание 1; б – сочетание 2

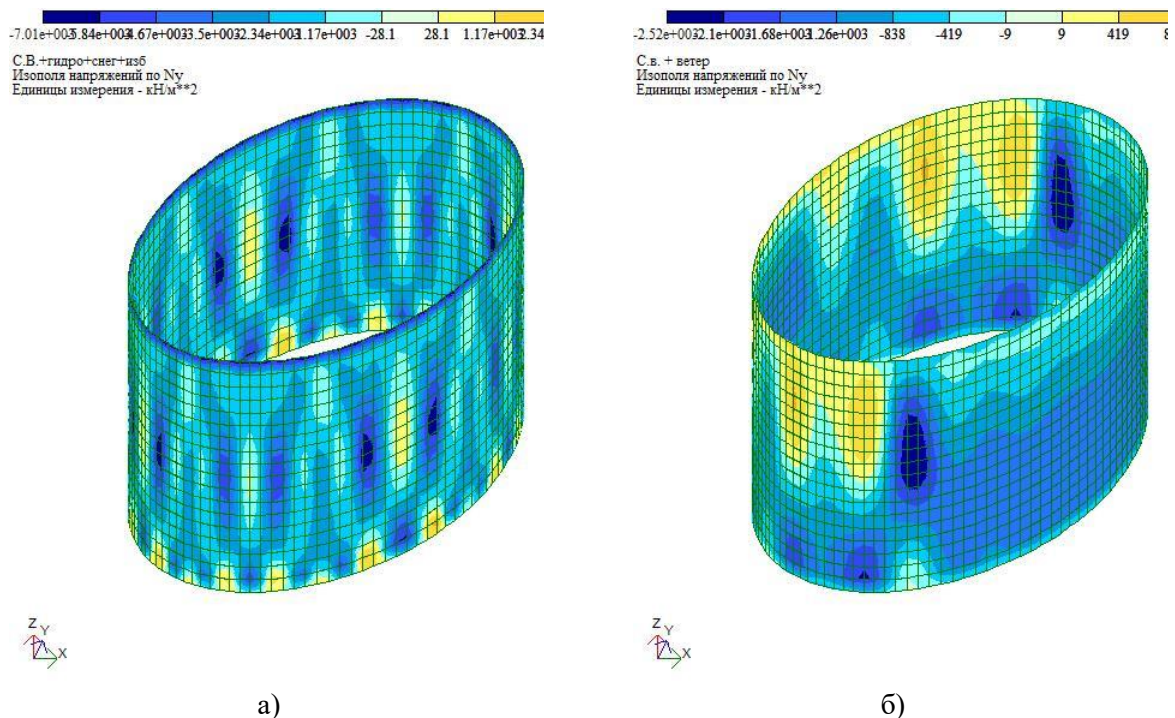


Рисунок 21 – Распределение нормальных меридиональных напряжений в стенке цилиндра от действия нагрузок: а – сочетание 1; б – сочетание 2

4.2 Результаты расчета

Результаты расчета представлены в Таблицах 4, 5.

Компоненты напряженного состояния, приведенные в Таблицах 4, 5:

$n_{x,Ed}$ - расчетные равнодействующие меридиональные мембранные нормальные напряжения на единицу длины окружности;

$p_{\theta,Ed}$ - расчетные равнодействующие кольцевые мембранные напряжения на единицу высоты оболочки;

$p_{x\theta,Ed}$ - расчетные равнодействующие мембранные касательные напряжения на единицу ширины оболочки;

$m_{x,Ed}$ - расчетный меридиональный изгибающий момент на единицу длины окружности;

$m_{\theta,Ed}$ - расчетный кольцевой изгибающий момент в горизонтальной плоскости на единицу высоты оболочки;

$m_{x\theta,Ed}$ - расчетный поперечный крутящий момент на единицу ширины оболочки;

Таблица 4 – Расчетные напряжения по сочетанию 1

№ участка	Компоненты напряженного состояния					
	$p_{\theta,Ed}$	$m_{\theta,Ed}$	$p_{x,Ed}$	$m_{x,Ed}$	$p_{x\theta,Ed}$	$m_{x\theta,Ed}$
	кН/см	кН·см/см	кН/см	кН·см/см	кН/см	кН·см/см
1	25,56	0,642	1,1124	0,685	0,4872	0,208
2	20,16	0,591	0,5067	0,228	0,18	0,074
3	17,36	0,58	0,3744	0,174	0,0968	0,0301
4	14,28	0,462	0,4592	0,135	0,04403	0,0143
5	11,28	0,303	0,4752	0,104	0,0375	0,00913
6	8,52	0,267	0,4206	0,0827	0,04446	0,0185
7	5,442	0,177	0,2982	0,0527	0,0435	0,0197
8	2,322	0,0834	0,225	0,0386	0,03768	0,017
9	1,884	0,0451	0,2148	0,0785	0,072	0,0099

Таблица 5 – Расчетные напряжения по сочетанию 2

№ участка	Компоненты напряженного состояния					
	$p_{\theta,Ed}$	$m_{\theta,Ed} \times 10^{-3}$	$p_{x,Ed}$	$m_{x,Ed} \times 10^{-3}$	$p_{x\theta,Ed}$	$m_{x\theta,Ed} \times 10^{-3}$
	кН/см	кН·см/см	кН/см	кН·см/см	кН/см	кН·см/см
1	0,09444	7,89	0,2964	6,72	0,144	4,89
2	0,07839	9,62	0,1971	2,36	0,126	2,99
3	0,07944	13,3	0,1312	4,42	0,1056	2,44
4	0,0903	13,8	0,1393	5,06	0,0833	1,65
5	0,099	11,1	0,1602	4,18	0,05778	0,782
6	0,1014	12,1	0,1632	4,48	0,02898	0,277
7	0,1092	11,5	0,1542	4,4	0,03864	0,864
8	0,1134	9,29	0,123	3,62	0,0702	1,75
9	0,204	5,23	0,066	7,16	0,1092	2,64

5 Расчет цилиндрической стенки

5.1 Расчет по предельному состоянию пластичности (расчет на прочность)

5.1.1 Методика расчета

Согласно Пункту 5.2.1 СП РК EN 1993-4-2 изотропная оболочка рассчитывается согласно указаниям Раздела 5.3.2 СП РК EN 1993-4-1.

Порядок расчета:

а) Поскольку расчет был выполнен по моментной упругой теории оболочек (LA), полученное двухмерное поле равнодействующих основных напряжений преобразуется в фиктивные

НТП РК 03-04-2.1-2012

компоненты равнодействующих напряжений (Формулы 5.2 и 5.3 СН РК EN 1993-4-1):

$$\sigma_{x,Ed} = \frac{n_{x,Ed}}{t} \pm \frac{m_{x,Ed}}{t^2/4}, \quad \sigma_{\theta,Ed} = \frac{n_{\theta,Ed}}{t} \pm \frac{m_{\theta,Ed}}{t^2/4}, \quad \tau_{x\theta,Ed} = \frac{n_{x\theta,Ed}}{t} \pm \frac{m_{x\theta,Ed}}{t^2/4}$$

где $n_{x,Ed}$ - расчетные равнодействующие меридиональные мембранные нормальные напряжения на единицу длины окружности;

$n_{\theta,Ed}$ - расчетные равнодействующие кольцевые мембранные напряжения на единицу высоты оболочки;

$n_{x\theta,Ed}$ - расчетные равнодействующие мембранные касательные напряжения на единицу ширины оболочки;

$m_{x,Ed}$ - расчетный меридиональный изгибающий момент на единицу длины окружности;

$m_{\theta,Ed}$ - расчетный кольцевой изгибающий момент в горизонтальной плоскости на единицу высоты оболочки;

$m_{x\theta,Ed}$ - расчетный поперечный крутящий момент на единицу ширины оболочки.

б) определение приведенных расчетных напряжений фон Мизеса (Формула 5.4 СН РК EN 1993-4-1):

$$\sigma_{e,Ed} = \sqrt{\sigma_{x,Ed}^2 + \sigma_{\theta,Ed}^2 - \sigma_{x,Ed}\sigma_{\theta,Ed} + 3\tau_{x\theta,Ed}^2}$$

в) эквивалентное расчетное сопротивление для сварных конструкций (Формула 5.5 СН РК EN 1993-4-1):

$$f_{e,Rd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

где γ_{M0} - частный коэффициент безопасности по предельному состоянию пластичности, $\gamma_{M0} = 1,00$ (см. Пункт 2.9.2.2.3 СН РК EN 1993-4-2).

г) проверка несущей способности по приведенным равнодействующим напряжениям (Формула 5.10 СН РК EN 1993-4-1):

$$\sigma_{e,Ed} \leq f_{e,Rd}$$

д) несущие способности по отдельным равнодействующим

- несущая способность в меридиональном направлении (Формула 5.7 СН РК EN 1993-4-1):

$$n_{x,Rd} = f_u t / \gamma_{M2}$$

- несущая способность в окружном направлении (Формула 5.8 СН РК EN 1993-4-1):

$$n_{\theta,Rd} = f_u t / \gamma_{M2}$$

- несущая способность по касательным напряжениям (Формула 5.9 СН РК EN 1993-4-1):

$$n_{x\theta,Rd} = 0,57 f_y t / \gamma_{M0}$$

где γ_{M2} - частный коэффициент безопасности по предельному состоянию пластичности, $\gamma_{M2} = 1,25$ (см. Пункт 2.9.2.2.3 СН РК EN 1993-4-2).

е) проверка по отдельным равнодействующим (Формулы 5.11-5.13 СН РК EN 1993-4-1):

$$n_{x,Ed} \leq n_{x,Rd}, \quad n_{\theta,Ed} \leq n_{\theta,Rd}, \quad n_{x\theta,Ed} \leq n_{x\theta,Rd}$$

5.1.2 Расчет поясов

5.1.2.1 Пояс 1

а) фиктивные компоненты равнодействующих напряжений:

$$\begin{aligned} \sigma_{x,Ed1} &= \frac{n_{x,Ed1}}{t_1} + \frac{m_{x,Ed1}}{t_1^2/4} = \frac{1,1124}{1,2} + \frac{0,685}{1,2^2/4} = 2,83 \text{ кН/см}^2 \\ \sigma_{\theta,Ed1} &= \frac{n_{\theta,Ed1}}{t_1} + \frac{m_{\theta,Ed1}}{t_1^2/4} = \frac{25,56}{1,2} + \frac{0,642}{1,2^2/4} = 23,08 \text{ кН/см}^2 \\ \tau_{x\theta,Ed1} &= \frac{n_{x\theta,Ed1}}{t_1} + \frac{m_{x\theta,Ed1}}{t_1^2/4} = \frac{0,4872}{1,2} + \frac{0,208}{1,2^2/4} = 0,98 \text{ кН/см}^2 \end{aligned}$$

б) определение приведенных расчетных напряжений фон Мизеса:

$$\sigma_{e,Ed1} = \sqrt{\sigma_{x,Ed1}^2 + \sigma_{\theta,Ed1}^2 - \sigma_{x,Ed1}\sigma_{\theta,Ed1} + 3\tau_{x\theta,Ed1}^2}$$

$$\sigma_{e,Ed1} = \sqrt{2,83^2 + 23,08^2 - 2,83 \cdot 23,08 + 3 \cdot 0,98^2} = 21,87 \text{ кН/см}^2$$

в) эквивалентное расчетное сопротивление для сварных конструкций:

$$f_{e,Rd1} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{23,5}{1} = 23,5 \text{ кН/см}^2$$

где γ_{M0} – частный коэффициент безопасности по предельному состоянию пластичности, $\gamma_{M0} = 1,00$;

f_y – предел текучести листа стенки оболочки, $f_y = 23,5 \text{ кН/см}^2$.

г) проверка несущей способности по приведенным равнодействующим напряжениям:

$$\sigma_{e,Ed1} \leq f_{e,Rd1} \quad 21,87 \text{ кН/см}^2 < 23,5 \text{ кН/см}^2 \quad \text{Условие выполняется.}$$

д) несущие способности по отдельным равнодействующим

- несущая способность в меридиональном направлении:

$$n_{x,Rd1} = f_u t_1 / \gamma_{M2} = 36 \cdot 1,2 / 1,25 = 34,56 \text{ кН/см}$$

- несущая способность в окружном направлении:

$$n_{\theta,Rd1} = f_u t_1 / \gamma_{M2} = 36 \cdot 1,2 / 1,25 = 34,56 \text{ кН/см}$$

- несущая способность по касательным напряжениям:

$$n_{x\theta,Rd1} = 0,57 f_y t_1 / \gamma_{M0} = 0,57 \cdot 23,5 \cdot 1,2 / 1 = 16,07 \text{ кН/см}$$

где f_u – предел прочности на растяжение, $f_u = 36 \text{ кН/см}^2$;

γ_{M0}, γ_{M2} – частные коэффициенты надежности, $\gamma_{M0} = 1,00$, $\gamma_{M2} = 1,25$.

е) проверка по отдельным равнодействующим:

$n_{x,Ed1} \leq n_{x,Rd1},$	$1,1124 < 34,56$	Условие выполняется
$n_{\theta,Ed1} \leq n_{\theta,Rd1},$	$25,56 < 34,56$	Условие выполняется
$n_{x\theta,Ed1} \leq n_{x\theta,Rd1},$	$1,4872 < 16,07$	Условие выполняется

5.1.2.2 Пояс 2

а) фиктивные компоненты равнодействующих напряжений:

$$\sigma_{x,Ed2} = \frac{n_{x,Ed2}}{t_2} + \frac{m_{x,Ed2}}{t_2^2/4} = \frac{0,507}{0,9} + \frac{0,228}{0,9^2/4} = 1,689 \text{ кН/см}^2$$

$$\sigma_{\theta,Ed2} = \frac{n_{\theta,Ed2}}{t_2} + \frac{m_{\theta,Ed2}}{t_2^2/4} = \frac{20,16}{0,9} + \frac{0,591}{0,9^2/4} = 25,319 \text{ кН/см}^2$$

$$\tau_{x\theta,Ed2} = \frac{n_{x\theta,Ed2}}{t_2} + \frac{m_{x\theta,Ed2}}{t_2^2/4} = \frac{0,180}{0,9} + \frac{0,074}{0,9^2/4} = 0,565 \text{ кН/см}^2$$

б) определение приведенных расчетных напряжений фон Мизеса:

$$\sigma_{e,Ed2} = \sqrt{\sigma_{x,Ed2}^2 + \sigma_{\theta,Ed2}^2 - \sigma_{x,Ed2}\sigma_{\theta,Ed2} + 3\tau_{x\theta,Ed2}^2}$$

$$\sigma_{e,Ed2} = \sqrt{1,689^2 + 25,319^2 - 1,689 \cdot 25,319 + 3 \cdot 0,565^2} = 24,537 \text{ кН/см}^2$$

в) эквивалентное расчетное сопротивление для сварных конструкций:

$$f_{e,Rd2} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{23,5}{1} = 23,5 \text{ кН/см}^2$$

где γ_{M0} – частный коэффициент безопасности по предельному состоянию пластичности, $\gamma_{M0} = 1,00$;

f_y – предел текучести листа стенки оболочки, $f_y = 23,5 \text{ кН/см}^2$.

г) проверка несущей способности по приведенным равнодействующим напряжениям:

$$\sigma_{e,Ed2} \leq f_{e,Rd2} \quad 24,537 \text{ кН/см}^2 > 23,5 \text{ кН/см}^2 \quad \text{Условие не выполняется.}$$

Увеличиваем толщину пояса. Принимаем толщину пояса, равную $t = 10$ мм. Получаем:

– фиктивные компоненты равнодействующих напряжений $\sigma_{x,Ed2} = 1,42 \text{ кН/см}^2$, $\sigma_{\theta,Ed2} = 22,52 \text{ кН/см}^2$, $\tau_{x\theta,Ed2} = 0,48 \text{ кН/см}^2$;

– приведенные расчетные напряжения фон Мизеса $\sigma_{e,Ed2} = 21,86 \text{ кН/см}^2$;

– проверка несущей способности по приведенным равнодействующим напряжениям:

$$\sigma_{e,Ed2} \leq f_{e,Rd2} \quad 21,86 \text{ кН/см}^2 > 23,5 \text{ кН/см}^2 \quad \text{Условие выполняется.}$$

д) несущие способности по отдельным равнодействующим (с новой толщиной пояса):

- несущая способность в меридиональном направлении:

$$n_{x,Rd2} = f_u t_2 / \gamma_{M2} = 36 \cdot 1,0 / 1,25 = 28,80 \text{ кН/см}$$

- несущая способность в окружном направлении:

$$n_{\theta,Rd2} = f_u t_2 / \gamma_{M2} = 36 \cdot 1,0 / 1,25 = 28,80 \text{ кН/см}$$

- несущая способность по касательным напряжениям:

$$n_{x\theta,Rd2} = 0,57 f_y t_2 / \gamma_{M0} = 0,57 \cdot 23,5 \cdot 1,0 / 1 = 13,40 \text{ кН/см}$$

где f_u – предел прочности на растяжение, $f_u = 36 \text{ кН/см}^2$;

γ_{M0} , γ_{M2} – частные коэффициенты надежности, $\gamma_{M0} = 1,00$, $\gamma_{M2} = 1,25$.

е) проверка по отдельным равнодействующим:

$n_{x,Ed2} \leq n_{x,Rd2},$	$0,507 < 28,80$	Условие выполняется
$n_{\theta,Ed2} \leq n_{\theta,Rd2},$	$20,16 < 28,80$	Условие выполняется
$n_{x\theta,Ed2} \leq n_{x\theta,Rd2},$	$0,180 < 13,40$	Условие выполняется

5.1.2.3. Пояс 3

а) фиктивные компоненты равнодействующих напряжений:

$$\begin{aligned} \sigma_{x,Ed3} &= \frac{n_{x,Ed3}}{t_3} + \frac{m_{x,Ed3}}{t_3^2/4} = \frac{0,374}{0,8} + \frac{0,174}{0,8^2/4} = 1,556 \text{ кН/см}^2 \\ \sigma_{\theta,Ed3} &= \frac{n_{\theta,Ed3}}{t_3} + \frac{m_{\theta,Ed3}}{t_3^2/4} = \frac{17,36}{0,8} + \frac{0,580}{0,8^2/4} = 25,325 \text{ кН/см}^2 \\ \tau_{x\theta,Ed3} &= \frac{n_{x\theta,Ed3}}{t_3} + \frac{m_{x\theta,Ed3}}{t_3^2/4} = \frac{0,097}{0,8} + \frac{0,030}{0,8^2/4} = 0,309 \text{ кН/см}^2 \end{aligned}$$

б) определение приведенных расчетных напряжений фон Мизеса:

$$\begin{aligned} \sigma_{e,Ed3} &= \sqrt{\sigma_{x,Ed3}^2 + \sigma_{\theta,Ed3}^2 - \sigma_{x,Ed3} \sigma_{\theta,Ed3} + 3 \tau_{x\theta,Ed3}^2} \\ \sigma_{e,Ed3} &= \sqrt{1,556^2 + 25,325^2 - 1,556 \cdot 25,325 + 3 \cdot 0,309^2} = 24,59 \text{ кН/см}^2 \end{aligned}$$

в) эквивалентное расчетное сопротивление для сварных конструкций:

$$f_{e,Rd3} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{23,5}{1} = 23,5 \text{ кН/см}^2$$

где γ_{M0} – частный коэффициент безопасности по предельному состоянию пластичности, $\gamma_{M0} = 1,00$;

f_y - предел текучести листа стенки оболочки, $f_y = 23,5 \text{ кН/см}^2$.

г) проверка несущей способности по приведенным равнодействующим напряжениям:

$$\sigma_{e,Ed3} \leq f_{e,Rd3} \quad 24,59 \text{ кН/см}^2 > 23,5 \text{ кН/см}^2 \quad \text{Условие не выполняется.}$$

Увеличиваем толщину пояса. Принимаем толщину пояса, равную $t = 9$ мм. Получаем:

– фиктивные компоненты равнодействующих напряжений $\sigma_{x,Ed2} = 1,28 \text{ кН/см}^2$, $\sigma_{\theta,Ed2} = 22,15 \text{ кН/см}^2$, $\tau_{x\theta,Ed2} = 0,26 \text{ кН/см}^2$;

– приведенные расчетные напряжения фон Мизеса $\sigma_{e,Ed2} = 21,55 \text{ кН/см}^2$;

– проверка несущей способности по приведенным равнодействующим напряжениям:

$$\sigma_{e,Ed2} \leq f_{e,Rd2} \quad 21,55 \text{ кН/см}^2 > 23,5 \text{ кН/см}^2 \quad \text{Условие выполняется.}$$

д) несущие способности по отдельным равнодействующим (с новой толщиной пояса):

- несущая способность в меридиональном направлении:

$$n_{x,Rd3} = f_u t_3 / \gamma_{M2} = 36 \cdot 0,9 / 1,25 = 25,92 \text{ кН/см}$$

- несущая способность в окружном направлении:

$$n_{\theta,Rd3} = f_u t_3 / \gamma_{M2} = 36 \cdot 0,9 / 1,25 = 25,92 \text{ кН/см}$$

- несущая способность по касательным напряжениям:

$$n_{x\theta,Rd3} = 0,57 f_y t_3 / \gamma_{M0} = 0,57 \cdot 23,5 \cdot 0,9 / 1 = 12,06 \text{ кН/см}$$

где f_u – предел прочности на растяжение, $f_u = 36 \text{ кН/см}^2$;

γ_{M0} , γ_{M2} – частные коэффициенты надежности, $\gamma_{M0} = 1,00$, $\gamma_{M2} = 1,25$.

е) проверка по отдельным равнодействующим:

$$n_{x,Ed3} \leq n_{x,Rd3}, \quad 0,374 < 25,92 \quad \text{Условие выполняется}$$

$$n_{\theta,Ed3} \leq n_{\theta,Rd3}, \quad 17,36 < 25,92 \quad \text{Условие выполняется}$$

$$n_{x\theta,Ed3} \leq n_{x\theta,Rd3}, \quad 0,097 < 12,06 \quad \text{Условие выполняется}$$

5.1.2.4 Пояс 4

а) фиктивные компоненты равнодействующих напряжений:

$$\sigma_{x,Ed4} = \frac{n_{x,Ed4}}{t_4} + \frac{m_{x,Ed4}}{t_4^2/4} = \frac{0,459}{0,7} + \frac{0,135}{0,7^2/4} = 1,758 \text{ кН/см}^2$$

$$\sigma_{\theta,Ed4} = \frac{n_{\theta,Ed4}}{t_4} + \frac{m_{\theta,Ed4}}{t_4^2/4} = \frac{14,28}{0,7} + \frac{0,462}{0,7^2/4} = 24,171 \text{ кН/см}^2$$

$$\tau_{x\theta,Ed4} = \frac{n_{x\theta,Ed4}}{t_4} + \frac{m_{x\theta,Ed4}}{t_4^2/4} = \frac{0,044}{0,7} + \frac{0,014}{0,7^2/4} = 0,180 \text{ кН/см}^2$$

б) определение приведенных расчетных напряжений фон Мизеса:

$$\sigma_{e,Ed4} = \sqrt{\sigma_{x,Ed4}^2 + \sigma_{\theta,Ed4}^2 - \sigma_{x,Ed4} \sigma_{\theta,Ed4} + 3 \tau_{x\theta,Ed4}^2}$$

$$\sigma_{e,Ed4} = \sqrt{1,758^2 + 24,171^2 - 1,758 \cdot 24,171 + 3 \cdot 0,180^2} = 23,344 \text{ кН/см}^2$$

в) эквивалентное расчетное сопротивление для сварных конструкций:

$$f_{e,Rd4} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{23,5}{1} = 23,5 \text{ кН/см}^2$$

где γ_{M0} – частный коэффициент безопасности по предельному состоянию пластичности, $\gamma_{M0} = 1,00$;

f_y – предел текучести листа стенки оболочки, $f_y = 23,5 \text{ кН/см}^2$.

г) проверка несущей способности по приведенным равнодействующим напряжениям:

$$\sigma_{e,Ed4} \leq f_{e,Rd4} \quad 23,344 \text{ кН/см}^2 < 23,5 \text{ кН/см}^2 \quad \text{Условие выполняется.}$$

д) несущие способности по отдельным равнодействующим

- несущая способность в меридиональном направлении:

$$n_{x,Rd4} = f_u t_4 / \gamma_{M2} = 36 \cdot 0,7 / 1,25 = 20,16 \text{ кН/см}$$

- несущая способность в окружном направлении:

$$n_{\theta,Rd4} = f_u t_4 / \gamma_{M2} = 36 \cdot 0,7 / 1,25 = 20,16 \text{ кН/см}$$

- несущая способность по касательным напряжениям:

$$n_{x\theta,Rd4} = 0,57 f_y t_4 / \gamma_{M0} = 0,57 \cdot 23,5 \cdot 0,7 / 1 = 9,377 \text{ кН/см}$$

где f_u – предел прочности на растяжение, $f_u = 36 \text{ кН/см}^2$;

γ_{M0} , γ_{M2} – частные коэффициенты надежности, $\gamma_{M0} = 1,00$, $\gamma_{M2} = 1,25$.

е) проверка по отдельным равнодействующим:

$$n_{x,Ed4} \leq n_{x,Rd4}, \quad 0,459 < 20,16 \quad \text{Условие выполняется}$$

$$n_{\theta,Ed4} \leq n_{\theta,Rd4}, \quad 14,28 < 20,16 \quad \text{Условие выполняется}$$

$$n_{x\theta,Ed4} \leq n_{x\theta,Rd4}, \quad 0,044 < 9,377 \quad \text{Условие выполняется}$$

5.1.2.5 Пояс 5

а) фиктивные компоненты равнодействующих напряжений:

$$\sigma_{x,Ed5} = \frac{n_{x,Ed5}}{t_5} + \frac{m_{x,Ed5}}{t_5^2/4} = \frac{0,475}{0,6} + \frac{0,104}{0,6^2/4} = 1,948 \text{ кН/см}^2$$

$$\sigma_{\theta,Ed5} = \frac{n_{\theta,Ed5}}{t_5} + \frac{m_{\theta,Ed5}}{t_5^2/4} = \frac{11,28}{0,6} + \frac{0,303}{0,6^2/4} = 22,167 \text{ кН/см}^2$$

$$\tau_{x\theta,Ed5} = \frac{n_{x\theta,Ed5}}{t_5} + \frac{m_{x\theta,Ed5}}{t_5^2/4} = \frac{0,038}{0,6} + \frac{0,009}{0,6^2/4} = 0,164 \text{ кН/см}^2$$

б) определение приведенных расчетных напряжений фон Мизеса:

$$\sigma_{e,Ed5} = \sqrt{\sigma_{x,Ed5}^2 + \sigma_{\theta,Ed5}^2 - \sigma_{x,Ed5}\sigma_{\theta,Ed5} + 3\tau_{x\theta,Ed5}^2}$$

$$\sigma_{e,Ed5} = \sqrt{1,948^2 + 22,167^2 - 1,948 \cdot 22,167 + 3 \cdot 0,164^2} = 21,262 \text{ кН/см}^2$$

в) эквивалентное расчетное сопротивление для сварных конструкций:

$$f_{e,Rd5} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{23,5}{1} = 23,5 \text{ кН/см}^2$$

где γ_{M0} – частный коэффициент безопасности по предельному состоянию пластичности, $\gamma_{M0} = 1,00$;

f_y – предел текучести листа стенки оболочки, $f_y = 23,5 \text{ кН/см}^2$.

г) проверка несущей способности по приведенным равнодействующим напряжениям:

$$\sigma_{e,Ed5} \leq f_{e,Rd5} \quad 21,262 \text{ кН/см}^2 < 23,5 \text{ кН/см}^2 \quad \text{Условие выполняется.}$$

д) несущие способности по отдельным равнодействующим

- несущая способность в меридиональном направлении:

$$n_{x,Rd5} = f_u t_5 / \gamma_{M2} = 36 \cdot 0,6 / 1,25 = 17,28 \text{ кН/см}$$

- несущая способность в окружном направлении:

$$n_{\theta,Rd5} = f_u t_5 / \gamma_{M2} = 36 \cdot 0,6 / 1,25 = 17,28 \text{ кН/см}$$

- несущая способность по касательным напряжениям:

$$n_{x\theta,Rd5} = 0,57 f_y t_5 / \gamma_{M0} = 0,57 \cdot 23,5 \cdot 0,6 / 1 = 8,037 \text{ кН/см}$$

где f_u – предел прочности на растяжение, $f_u = 36 \text{ кН/см}^2$; γ_{M0}, γ_{M2} – частные коэффициенты надежности, $\gamma_{M0} = 1,00$, $\gamma_{M2} = 1,25$.

е) проверка по отдельным равнодействующим:

$n_{x,Ed5} \leq n_{x,Rd5},$	$0,475 < 17,28$	Условие выполняется
$n_{\theta,Ed5} \leq n_{\theta,Rd5},$	$11,28 < 17,28$	Условие выполняется
$n_{x\theta,Ed5} \leq n_{x\theta,Rd5},$	$0,038 < 8,037$	Условие выполняется

5.1.2.6 Пояс 6

а) фиктивные компоненты равнодействующих напряжений:

$$\sigma_{x,Ed6} = \frac{n_{x,Ed6}}{t_6} + \frac{m_{x,Ed6}}{t_6^2/4} = \frac{0,421}{0,6} + \frac{0,083}{0,6^2/4} = 1,620 \text{ кН/см}^2$$

$$\sigma_{\theta,Ed6} = \frac{n_{\theta,Ed6}}{t_6} + \frac{m_{\theta,Ed6}}{t_6^2/4} = \frac{8,52}{0,6} + \frac{0,267}{0,6^2/4} = 17,167 \text{ кН/см}^2$$

$$\tau_{x\theta,Ed6} = \frac{n_{x\theta,Ed6}}{t_6} + \frac{m_{x\theta,Ed6}}{t_6^2/4} = \frac{0,0445}{0,6} + \frac{0,0185}{0,6^2/4} = 0,28 \text{ кН/см}^2$$

б) определение приведенных расчетных напряжений фон Мизеса:

$$\sigma_{e,Ed6} = \sqrt{\sigma_{x,Ed6}^2 + \sigma_{\theta,Ed6}^2 - \sigma_{x,Ed6}\sigma_{\theta,Ed6} + 3\tau_{x\theta,Ed6}^2}$$

$$\sigma_{e,Ed6} = \sqrt{1,62^2 + 17,167^2 - 1,62 \cdot 17,167 + 3 \cdot 0,28^2} = 16,42 \text{ кН/см}^2$$

в) эквивалентное расчетное сопротивление для сварных конструкций:

$$f_{e,Rd6} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{23,5}{1} = 23,5 \text{ кН/см}^2$$

где γ_{M0} – частный коэффициент безопасности по предельному состоянию пластичности, $\gamma_{M0} = 1,00$;

f_y – предел текучести листа стенки оболочки, $f_y = 23,5 \text{ кН/см}^2$.

г) проверка несущей способности по приведенным равнодействующим напряжениям:

$$\sigma_{e,Ed6} \leq f_{e,Rd6} \quad 16,42 \text{ кН/см}^2 < 23,5 \text{ кН/см}^2 \quad \text{Условие выполняется.}$$

д) несущие способности по отдельным равнодействующим

- несущая способность в меридиональном направлении:

$$n_{x,Rd6} = f_u t_6 / \gamma_{M2} = 36 \cdot 0,6 / 1,25 = 17,28 \text{ кН/см}$$

- несущая способность в окружном направлении:

$$n_{\theta,Rd6} = f_u t_6 / \gamma_{M2} = 36 \cdot 0,6 / 1,25 = 17,28 \text{ кН/см}$$

- несущая способность по касательным напряжениям:

$$n_{x\theta,Rd6} = 0,57 f_y t_6 / \gamma_{M0} = 0,57 \cdot 23,5 \cdot 0,6 / 1 = 8,04 \text{ кН/см}$$

где f_u – предел прочности на растяжение, $f_u = 36 \text{ кН/см}^2$;

γ_{M0}, γ_{M2} – частные коэффициенты надежности, $\gamma_{M0} = 1,00$, $\gamma_{M2} = 1,25$.

е) проверка по отдельным равнодействующим:

$$n_{x,Ed6} \leq n_{x,Rd6}, \quad 0,421 < 17,28 \quad \text{Условие выполняется}$$

$$n_{\theta,Ed6} \leq n_{\theta,Rd6}, \quad 8,52 < 17,28 \quad \text{Условие выполняется}$$

$$n_{x\theta,Ed6} \leq n_{x\theta,Rd6}, \quad 0,445 < 8,04 \quad \text{Условие выполняется}$$

5.1.2.7 Пояс 7

а) фиктивные компоненты равнодействующих напряжений:

$$\sigma_{x,Ed7} = \frac{n_{x,Ed7}}{t_7} + \frac{m_{x,Ed7}}{t_7^2/4} = \frac{0,298}{0,6} + \frac{0,0527}{0,6^2/4} = 1,08 \text{ кН/см}^2$$

$$\sigma_{\theta,Ed7} = \frac{n_{\theta,Ed7}}{t_7} + \frac{m_{\theta,Ed7}}{t_7^2/4} = \frac{5,442}{0,6} + \frac{0,177}{0,6^2/4} = 11,04 \text{ кН/см}^2$$

$$\tau_{x\theta,Ed7} = \frac{n_{x\theta,Ed7}}{t_7} + \frac{m_{x\theta,Ed7}}{t_7^2/4} = \frac{0,0435}{0,6} + \frac{0,0197}{0,6^2/4} = 0,291 \text{ кН/см}^2$$

б) определение приведенных расчетных напряжений фон Мизеса:

$$\sigma_{e,Ed7} = \sqrt{\sigma_{x,Ed7}^2 + \sigma_{\theta,Ed7}^2 - \sigma_{x,Ed7} \sigma_{\theta,Ed7} + 3 \tau_{x\theta,Ed7}^2}$$

$$\sigma_{e,Ed7} = \sqrt{1,08^2 + 11,04^2 - 1,08 \cdot 11,04 + 3 \cdot 0,291^2} = 10,55 \text{ кН/см}^2$$

в) эквивалентное расчетное сопротивление для сварных конструкций:

$$f_{e,Rd7} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{23,5}{1} = 23,5 \text{ кН/см}^2$$

где γ_{M0} – частный коэффициент безопасности по предельному состоянию пластичности, $\gamma_{M0} = 1,00$;

f_y – предел текучести листа стенки оболочки, $f_y = 23,5 \text{ кН/см}^2$.

г) проверка несущей способности по приведенным равнодействующим напряжениям:

$$\sigma_{e,Ed7} \leq f_{e,Rd7} \quad 10,55 \text{ кН/см}^2 < 23,5 \text{ кН/см}^2 \quad \text{Условие выполняется.}$$

д) несущие способности по отдельным равнодействующим

- несущая способность в меридиональном направлении:

$$n_{x,Rd7} = f_u t_7 / \gamma_{M2} = 36 \cdot 0,6 / 1,25 = 17,28 \text{ кН/см}$$

- несущая способность в окружном направлении:

$$n_{\theta,Rd7} = f_u t_7 / \gamma_{M2} = 36 \cdot 0,6 / 1,25 = 17,28 \text{ кН/см}$$

- несущая способность по касательным напряжениям:

$$n_{x\theta,Rd7} = 0,57f_y t_7 / \gamma_{M0} = 0,57 \cdot 23,5 \cdot 0,6 / 1 = 8,04 \text{ кН/см}$$

где f_u – предел прочности на растяжение, $f_u = 36 \text{ кН/см}^2$;

γ_{M0}, γ_{M2} – частные коэффициенты надежности, $\gamma_{M0} = 1,00$, $\gamma_{M2} = 1,25$.

е) проверка по отдельным равнодействующим:

$$\begin{aligned} n_{x,Ed7} &\leq n_{x,Rd7}, & 0,298 &< 17,28 & \text{Условие выполняется} \\ n_{\theta,Ed7} &\leq n_{\theta,Rd7}, & 5,442 &< 17,28 & \text{Условие выполняется} \\ n_{x\theta,Ed7} &\leq n_{x\theta,Rd7}, & 0,0435 &< 8,04 & \text{Условие выполняется} \end{aligned}$$

5.1.2.8. Пояс 8

а) фиктивные компоненты равнодействующих напряжений:

$$\begin{aligned} \sigma_{x,Ed8} &= \frac{n_{x,Ed8}}{t_8} + \frac{m_{x,Ed8}}{t_8^2/4} = \frac{0,225}{0,6} + \frac{0,0386}{0,6^2/4} = 0,804 \text{ кН/см}^2 \\ \sigma_{\theta,Ed8} &= \frac{n_{\theta,Ed8}}{t_8} + \frac{m_{\theta,Ed8}}{t_8^2/4} = \frac{2,322}{0,6} + \frac{0,0834}{0,6^2/4} = 4,797 \text{ кН/см}^2 \\ \tau_{x\theta,Ed8} &= \frac{n_{x\theta,Ed8}}{t_8} + \frac{m_{x\theta,Ed8}}{t_8^2/4} = \frac{0,0377}{0,6} + \frac{0,017}{0,6^2/4} = 0,252 \text{ кН/см}^2 \end{aligned}$$

б) определение приведенных расчетных напряжений фон Мизеса:

$$\begin{aligned} \sigma_{e,Ed8} &= \sqrt{\sigma_{x,Ed8}^2 + \sigma_{\theta,Ed8}^2 - \sigma_{x,Ed8} \sigma_{\theta,Ed8} + 3\tau_{x\theta,Ed8}^2} \\ \sigma_{e,Ed8} &= \sqrt{0,804^2 + 4,797^2 - 0,804 \cdot 4,797 + 3 \cdot 0,252^2} = 4,47 \text{ кН/см}^2 \end{aligned}$$

в) эквивалентное расчетное сопротивление для сварных конструкций:

$$f_{e,Rd8} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{23,5}{1} = 23,5 \text{ кН/см}^2$$

где γ_{M0} – частный коэффициент безопасности по предельному состоянию пластичности, $\gamma_{M0} = 1,00$;

f_y - предел текучести листа стенки оболочки, $f_y = 23,5 \text{ кН/см}^2$.

г) проверка несущей способности по приведенным равнодействующим напряжениям:

$$\sigma_{e,Ed8} \leq f_{e,Rd8} \quad 4,47 \text{ кН/см}^2 < 23,5 \text{ кН/см}^2 \quad \text{Условие выполняется.}$$

д) несущие способности по отдельным равнодействующим

- несущая способность в меридиональном направлении:

$$n_{x,Rd8} = f_u t_8 / \gamma_{M2} = 36 \cdot 0,6 / 1,25 = 17,28 \text{ кН/см}$$

- несущая способность в окружном направлении:

$$n_{\theta,Rd8} = f_u t_8 / \gamma_{M2} = 36 \cdot 0,6 / 1,25 = 17,28 \text{ кН/см}$$

- несущая способность по касательным напряжениям:

$$n_{x\theta,Rd8} = 0,57f_y t_8 / \gamma_{M0} = 0,57 \cdot 23,5 \cdot 0,6 / 1 = 8,04 \text{ кН/см}$$

где f_u – предел прочности на растяжение, $f_u = 36 \text{ кН/см}^2$;

γ_{M0}, γ_{M2} – частные коэффициенты надежности, $\gamma_{M0} = 1,00$, $\gamma_{M2} = 1,25$.

е) проверка по отдельным равнодействующим:

$$\begin{aligned} n_{x,Ed8} &\leq n_{x,Rd8}, & 0,225 &< 17,28 & \text{Условие выполняется} \\ n_{\theta,Ed8} &\leq n_{\theta,Rd8}, & 2,322 &< 17,28 & \text{Условие выполняется} \\ n_{x\theta,Ed8} &\leq n_{x\theta,Rd8}, & 0,0377 &< 8,04 & \text{Условие выполняется} \end{aligned}$$

5.1.2.9. Пояс 9

а) фиктивные компоненты равнодействующих напряжений:

$$\begin{aligned} \sigma_{x,Ed9} &= \frac{n_{x,Ed9}}{t_9} + \frac{m_{x,Ed9}}{t_9^2/4} = \frac{0,215}{0,6} + \frac{0,0785}{0,6^2/4} = 1,23 \text{ кН/см}^2 \\ \sigma_{\theta,Ed9} &= \frac{n_{\theta,Ed9}}{t_9} + \frac{m_{\theta,Ed9}}{t_9^2/4} = \frac{1,884}{0,6} + \frac{0,0451}{0,6^2/4} = 3,64 \text{ кН/см}^2 \end{aligned}$$

$$\tau_{x\theta,Ed9} = \frac{n_{x\theta,Ed9}}{t_9} + \frac{m_{x\theta,Ed9}}{t_9^2/4} = \frac{0,072}{0,6} + \frac{0,0099}{0,6^2/4} = 0,23 \text{ кН/см}^2$$

б) определение приведенных расчетных напряжений фон Мизеса:

$$\sigma_{e,Ed9} = \sqrt{\sigma_{x,Ed9}^2 + \sigma_{\theta,Ed9}^2 - \sigma_{x,Ed9}\sigma_{\theta,Ed9} + 3\tau_{x\theta,Ed9}^2}$$

$$\sigma_{e,Ed9} = \sqrt{1,23^2 + 3,64^2 - 1,23 \cdot 3,64 + 3 \cdot 0,23^2} = 3,23 \text{ кН/см}^2$$

в) эквивалентное расчетное сопротивление для сварных конструкций:

$$f_{e,Rd9} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{23,5}{1} = 23,5 \text{ кН/см}^2$$

где γ_{M0} – частный коэффициент безопасности по предельному состоянию пластичности, $\gamma_{M0} = 1,00$;

f_y – предел текучести листа стенки оболочки, $f_y = 23,5 \text{ кН/см}^2$.

г) проверка несущей способности по приведенным равнодействующим напряжениям:

$$\sigma_{e,Ed9} \leq f_{e,Rd9} \quad 3,23 \text{ кН/см}^2 < 23,5 \text{ кН/см}^2 \quad \text{Условие выполняется.}$$

д) несущие способности по отдельным равнодействующим

- несущая способность в меридиональном направлении:

$$n_{x,Rd9} = f_u t_9 / \gamma_{M2} = 36 \cdot 0,6 / 1,25 = 17,28 \text{ кН/см}$$

- несущая способность в окружном направлении:

$$n_{\theta,Rd9} = f_u t_9 / \gamma_{M2} = 36 \cdot 0,6 / 1,25 = 17,28 \text{ кН/см}$$

- несущая способность по касательным напряжениям:

$$n_{x\theta,Rd9} = 0,57 f_y t_9 / \gamma_{M0} = 0,57 \cdot 23,5 \cdot 0,6 / 1 = 8,04 \text{ кН/см}$$

где f_u – предел прочности на растяжение, $f_u = 36 \text{ кН/см}^2$;

γ_{M0}, γ_{M2} – частные коэффициенты надежности, $\gamma_{M0} = 1,00$, $\gamma_{M2} = 1,25$.

е) проверка по отдельным равнодействующим:

$$n_{x,Ed9} \leq n_{x,Rd9}, \quad 0,215 < 17,28 \quad \text{Условие выполняется}$$

$$n_{\theta,Ed9} \leq n_{\theta,Rd9}, \quad 1,884 < 17,28 \quad \text{Условие выполняется}$$

$$n_{x\theta,Ed9} \leq n_{x\theta,Rd9}, \quad 0,072 < 8,04 \quad \text{Условие выполняется}$$

Для дальнейшего расчета принимаем толщины поясов 12-10-9-7-6-6-6-6 мм (начиная с нижнего).

5.2 Расчет по предельному состоянию потери устойчивости (расчет на устойчивость)

5.2.1 Исходные условия

Качество допуска на изготовление – стандартное с параметром качества Q=16 по Таблице 5.1 СП РК EN 1993-4-1.

Кольцевые и продольные ребра жесткости по оболочке – отсутствуют.

5.2.2 Методика расчета на устойчивость при наличии внутреннего давления

а) репрезентативное значение амплитуды несовершенства w_{ok} (Формула 5.14 СН РК EN 1993-4-1):

$$w_{ok} = \frac{t}{Q} \sqrt{\bar{r}}$$

б) упругий понижающий коэффициент при наличии несовершенства α_0 в условиях отсутствия давления (Формула 5.15 СН РК EN 1993-4-1):

$$\alpha_0 = \frac{0.62}{1 + 1.91 \psi \left(\frac{w_{ok}}{t} \right)^{1.44}}$$

где параметр неравномерности напряжений $\psi = 1$, т.к. имеет место случай равномерного сжатия по окружности.

в) упругий понижающий коэффициент при наличии несовершенства и давления α_{pe} определяется в следующей последовательности:

– критические напряжения потери устойчивости в упругой стадии (Формула 5.28 СН РК EN 1993-4-1):

$$\sigma_{x,Rcr} = \frac{E}{\sqrt{3(1-\nu^2)}} * \frac{t}{r} = 0.605E \frac{t}{r}$$

– наименьшее гарантированное значение локального внутреннего давления в данной расчетной точке (Формула 5.17 СН РК EN 1993-4-1):

$$\bar{p}_s = \frac{p_s r}{t \sigma_{x,Rcr}}$$

где p_s - локальное внутреннее давление в данной расчетной точке, принимается по Таблице 1.

– значение упругого понижающего коэффициента (Формула 5.16 СН РК EN 1993-4-1)

$$\alpha_{pe} = \alpha_0 + (1 - \alpha_0) \left(\frac{\bar{p}_s}{\bar{p}_s + \frac{0.3}{\sqrt{\alpha_0}}} \right)$$

г) пластический понижающий коэффициент при наличии несовершенства определяется в следующей последовательности:

– наибольшее локальное давление в рассматриваемой точке, определяется по Таблице 1 (Формула 5.19 СН РК EN 1993-4-1):

$$\bar{p}_g = \frac{p_g}{\sigma_{x,Rcr}} \cdot \frac{r}{t}$$

где p_g - наибольшее расчетное значение локального внутреннего давления в данной расчетной точке, принимается по Таблице 1 с коэффициентом 1,5.

– параметр s (Формула 5.20 СН РК EN 1993-4-1):

$$s = \left(\frac{1}{400} \right) \left(\frac{r}{t} \right)$$

– квадрат условной гибкости (Формула 5.21 СН РК EN 1993-4-1):

$$\bar{\lambda}_x^2 = \frac{f_y}{\sigma_{x,Rcr}}$$

– значение коэффициента (Формула 5.18 СН РК EN 1993-4-1):

$$\alpha_{pp} = \left\{ 1 - \left(\frac{\bar{p}_s}{\bar{\lambda}_x^2} \right)^2 \right\} \left[1 - \frac{1}{1.12 + s^{3/2}} \right] \left[\frac{s^2 + 1.21 \bar{\lambda}_x^2}{s(s+1)} \right]$$

д) поскольку в бункере имеется внутреннее давление, упругий понижающий коэффициент при наличии несовершенства α следует принимать как наименьшее из значений двух величин: α_{pe} и α_{pp} , но не менее α_0 .

е) коэффициент снижения устойчивости χ_x определяется как функция относительной гибкости оболочки $\bar{\lambda}_x$ (Формулы 5.30 – 5.35 (СН РК EN 1993-4-1):

$$\bar{\lambda}_x = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{x,Rcr}}}, \quad \bar{\lambda}_0 = 0.2, \quad \bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{\alpha}{1-\beta}}$$

$$\chi_x = 1 \quad \text{если} \quad \bar{\lambda}_x \leq \bar{\lambda}_0$$

$$\chi_x = 1 - \beta \left(\frac{\bar{\lambda}_x - \bar{\lambda}_0}{\bar{\lambda}_p - \bar{\lambda}_0} \right)^\eta \quad \text{если} \quad \bar{\lambda}_0 < \bar{\lambda}_x < \bar{\lambda}_p$$

$$\chi_x = \frac{\alpha}{\bar{\lambda}_x^2} \quad \text{если} \quad \bar{\lambda}_p \leq \bar{\lambda}_x$$

где: $\beta = 0,6$ и $\eta = 1,0$.

ж) характеристическое значение критических напряжений потери устойчивости (Формула 5.29 СН РК EN 1993-4-1):

$$\sigma_{x,Rk} = \chi_x f_y$$

з) расчетные мембранные напряжения при потере устойчивости (Формула 5.36 СН РК EN 1993-4-1):

$$\sigma_{x,Rd} = \sigma_{x,Rk} / \gamma_{M1}$$

где γ_{M1} - частный коэффициент безопасности по предельному состоянию устойчивости, $\gamma_{M1} = 1,10$ по Пункту 2.9.2.2.3 СН РК EN 1993-4-2.

и) проверка устойчивости оболочки (Формула 5.37 СН РК EN 1993-4-1):

$$n_{x,Ed} \leq t \sigma_{x,Rd}$$

5.2.3 Расчет поясов

5.2.3.1. Пояс 1

а) репрезентативное значение амплитуды несовершенства w_{ok} :

$$w_{ok1} = \frac{t_1}{Q} \sqrt{\frac{r}{t_1}} = \frac{1,2}{16} \sqrt{\frac{1425}{1,2}} = 2,58 \text{ см}$$

б) упругий понижающий коэффициент при наличии несовершенства α_0 в условиях отсутствия давления:

$$\alpha_{01} = \frac{0,62}{1 + 1,91 \psi \left(\frac{w_{ok1}}{t_1} \right)^{1,44}} = \frac{0,62}{1 + 1,91 \cdot 1 \left(\frac{2,58}{1,2} \right)^{1,44}} = 0,0916$$

где параметр неравномерности напряжений $\psi = 1$, т.к. имеет место случай равномерного сжатия по окружности.

в) упругий понижающий коэффициент при наличии несовершенства и давления α_{pe} определяется в следующей последовательности:

– критические напряжения потери устойчивости в упругой стадии:

$$\sigma_{x,Rcr1} = \frac{E}{\sqrt{3(1-\nu^2)}} \cdot \frac{t_1}{r} = 0,605E \frac{t_1}{r} = 0,605 \cdot 2,1 \cdot 10^4 \cdot \frac{1,2}{1425} = 10,7 \text{ кН/см}^2$$

– наименьшее гарантированное значение локального внутреннего давления в данной расчетной точке:

$$\bar{p}_{s1} = \frac{p_{s1} r}{t_1 \sigma_{x,Rcr1}} = \frac{145,2 \cdot 10^{-4} \cdot 1425}{1,2 \cdot 107} = 1,612$$

где p_s – локальное внутреннее давление в данной расчетной точке, $p_{s1} = 145,2 \cdot 10^{-4} \text{ кН/см}^2$.

– значение упругого понижающего коэффициента:

$$\alpha_{pe1} = \alpha_{01} + (1 - \alpha_{01}) \left(\frac{\bar{p}_{s1}}{\bar{p}_{s1} + \frac{0,3}{\sqrt{\alpha_{01}}}} \right) = 0,0916 + (1 - 0,0916) \left(\frac{1,612}{1,612 + \frac{0,3}{\sqrt{0,0916}}} \right) = 0,6541$$

г) пластический понижающий коэффициент при наличии несовершенства определяется в следующей последовательности:

– наибольшее локальное давление в рассматриваемой точке, $p_{g1} = 217,8 \cdot 10^{-4} \text{ кН/см}^2$:

$$\bar{p}_{g1} = \frac{p_{g1}}{\sigma_{x,Rcr1}} \cdot \frac{r}{t_1} = \frac{217,8 \cdot 10^{-4}}{10,7} \cdot \frac{1425}{1,2} = 2,42$$

– параметр s :

$$s_1 = \left(\frac{1}{400}\right) \left(\frac{r}{t_1}\right) = \left(\frac{1}{400}\right) \left(\frac{1425}{1,2}\right) = 2,97$$

– квадрат условной гибкости:

$$\bar{\lambda}_{x1}^2 = \frac{f_y}{\sigma_{x,Rcr1}} = \frac{23,5}{10,7} = 2,20$$

– значение коэффициента:

$$\alpha_{pp1} = \left\{ 1 - \left(\frac{\bar{p}_{s1}}{\bar{\lambda}_{x1}^2} \right)^2 \right\} \left[1 - \frac{1}{1,12 + s_1^{3/2}} \right] \left[\frac{s_1^2 + 1,21 \bar{\lambda}_{x1}^2}{s_1(s_1 + 1)} \right]$$

$$\alpha_{pp1} = \left\{ 1 - \left(\frac{1,612}{2,20} \right)^2 \right\} \left[1 - \frac{1}{1,12 + 2,97^{3/2}} \right] \left[\frac{2,97^2 + 1,21 \cdot 2,20}{2,97 \cdot (2,97 + 1)} \right] = 0,3774$$

д) т.к. $\alpha_{01} < \alpha_{pp1} < \alpha_{pe1}$ то $\alpha_4 = 0,3774$.

е) коэффициент снижения устойчивости χ_x определяется как функция относительной гибкости оболочки λ_x :

$$\bar{\lambda}_{x1} = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{x,Rcr1}}} = \sqrt{\frac{23,5}{10,7}} = 1,482; \quad \bar{\lambda}_0 = 0,2 \text{ и } \bar{\lambda}_{p1} = \sqrt{\frac{\alpha_1}{1 - \beta}} = \sqrt{\frac{0,3774}{1 - 0,6}} = 0,971$$

где: $\beta = 0,6$.

$$\text{т.к. } \bar{\lambda}_{p1} \leq \bar{\lambda}_{x1} \text{ то } \chi_{x1} = \frac{\alpha_1}{\bar{\lambda}_{x1}^2} = \frac{0,3774}{2,20} = 0,1718$$

ж) характеристическое значение критических напряжений потери устойчивости:

$$\sigma_{x,Rk1} = \chi_{x1} f_y = 0,1718 \cdot 23,5 = 4,04 \text{ кН/см}^2$$

з) расчетные мембранные напряжения при потере устойчивости:

$$\sigma_{x,Rd1} = \frac{\sigma_{x,Rk1}}{\gamma_{M1}} = \frac{4,04}{1,1} = 3,67 \text{ кН/см}^2$$

где γ_{M1} — частный коэффициент безопасности по предельному состоянию устойчивости, $\gamma_{M1} = 1,10$ по Пункту 2.9.2.2.3 СН РК EN 1993-4-2.

и) проверка устойчивости оболочки:

$$n_{x,Ed1} \leq t_1 \sigma_{x,Rd1}$$

$$t_1 \sigma_{x,Rd1} = 1,2 \cdot 3,67 = 4,40 \frac{\text{кН}}{\text{см}}$$

$$1,11 \frac{\text{кН}}{\text{см}} < 4,40 \frac{\text{кН}}{\text{см}} \quad \text{Условие выполняется.}$$

5.2.3.2 Пояс 2

а) репрезентативное значение амплитуды несовершенства w_{ok} :

$$w_{ok2} = \frac{t_2}{Q} \sqrt{\frac{r}{t_2}} = \frac{1,0}{16} \sqrt{\frac{1425}{1,0}} = 2,36 \text{ см}$$

б) упругий понижающий коэффициент при наличии несовершенства α_0 в условиях отсутствия давления:

$$\alpha_{02} = \frac{0,62}{1 + 1,91 \psi \left(\frac{w_{ok2}}{t_2} \right)^{1,44}} = \frac{0,62}{1 + 1,91 \cdot 1 \left(\frac{2,36}{1,0} \right)^{1,44}} = 0,0819$$

где параметр неравномерности напряжений $\psi = 1$, т.к. имеет место случай равномерного сжатия по окружности.

в) упругий понижающий коэффициент при наличии несовершенства и давления α_{pe} определяется в следующей последовательности:

– критические напряжения потери устойчивости в упругой стадии:

$$\sigma_{x,Rcr2} = \frac{E}{\sqrt{3(1-\nu^2)}} \cdot \frac{t_2}{r} = 0,605E \frac{t_2}{r} = 0,605 \cdot 2,1 \cdot 10^4 \cdot \frac{1,0}{1425} = 8,92 \text{ кН/см}^2$$

– наименьшее гарантированное значение локального внутреннего давления в данной расчетной точке:

$$\bar{p}_{s2} = \frac{p_{s2} \Gamma}{t_2 \sigma_{x,Rcr2}} = \frac{127,6 \cdot 10^{-4} \cdot 1425}{1,0 \cdot 8,92} = 2,039$$

где p_s – локальное внутреннее давление в данной расчетной точке, $p_{s2} = 127,6 \cdot 10^{-4} \text{ кН/см}^2$.

– значение упругого понижающего коэффициента:

$$\alpha_{pe2} = \alpha_{02} + (1 - \alpha_{02}) \left(\frac{\bar{p}_{s2}}{\bar{p}_{s2} + \frac{0,3}{\sqrt{\alpha_{02}}}} \right) = 0,0766 + (1 - 0,0819) \left(\frac{2,039}{2,039 + \frac{0,3}{\sqrt{0,0819}}} \right) = 0,6882$$

г) пластический понижающий коэффициент при наличии несовершенства определяется в следующей последовательности:

– наибольшее локальное давление в рассматриваемой точке, $p_{g2} = 191,4 \cdot 10^{-4} \text{ кН/см}^2$:

$$\bar{p}_{g2} = \frac{p_{g2}}{\sigma_{x,Rcr2}} \cdot \frac{r}{t_2} = \frac{191,4 \cdot 10^{-4}}{8,92} \cdot \frac{1425}{1,0} = 3,06$$

– параметр s :

$$s_2 = \left(\frac{1}{400} \right) \left(\frac{r}{t_2} \right) = \left(\frac{1}{400} \right) \left(\frac{1425}{1,0} \right) = 3,56$$

– квадрат условной гибкости:

$$\bar{\lambda}_{x2}^2 = \frac{f_y}{\sigma_{x,Rcr2}} = \frac{23,5}{8,92} = 2,64$$

– значение коэффициента:

$$\alpha_{pp2} = \left\{ 1 - \left(\frac{\bar{p}_{s2}}{\bar{\lambda}_{x2}^2} \right)^2 \right\} \left[1 - \frac{1}{1,12 + s_2^{3/2}} \left[\frac{s_2^2 + 1,21 \bar{\lambda}_{x2}^2}{s_2(s_2 + 1)} \right] \right]$$

$$\alpha_{pp2} = \left\{ 1 - \left(\frac{2,039}{2,64} \right)^2 \right\} \left[1 - \frac{1}{1,12 + 3,56^{3/2}} \left[\frac{3,56^2 + 1,21 \cdot 2,64}{3,56 \cdot (3,56 + 1)} \right] \right] = 0,3421$$

д) т.к. $\alpha_{02} < \alpha_{pp2} < \alpha_{pe2}$ то $\alpha_2 = 0,3421$.

е) коэффициент снижения устойчивости χ_x определяется как функция относительной гибкости оболочки $\bar{\lambda}_x$:

$$\bar{\lambda}_{x2} = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{x,Rcr2}}} = \sqrt{\frac{23,5}{8,92}} = 1,624; \quad \bar{\lambda}_{02} = 0,2 \text{ и } \bar{\lambda}_{p2} = \sqrt{\frac{\alpha_2}{1-\beta}} = \sqrt{\frac{0,3421}{1-0,6}} = 0,925$$

где: $\beta = 0,6$.

$$\text{т.к. } \bar{\lambda}_{p2} \leq \bar{\lambda}_{x2} \text{ то } \chi_{x2} = \frac{\alpha_2}{\bar{\lambda}_{x2}^2} = \frac{0,3421}{2,64} = 0,1298$$

ж) характеристическое значение критических напряжений потери устойчивости:

$$\sigma_{x,Rk2} = \chi_{x2} f_y = 0,1298 \cdot 23,5 = 3,05 \text{ кН/см}^2$$

з) расчетные мембранные напряжения при потере устойчивости:

$$\sigma_{x,Rd2} = \frac{\sigma_{x,Rk2}}{\gamma_{M1}} = \frac{3,05}{1,1} = 2,77 \text{ кН/см}^2$$

где γ_{M1} — частный коэффициент безопасности по предельному состоянию устойчивости, $\gamma_{M1} = 1,10$ по Пункту 2.9.2.2.3 СН РК EN 1993-4-2.

и) проверка устойчивости оболочки:

$$n_{x,Ed2} \leq t_2 \sigma_{x,Rd2}$$

$$t_2 \sigma_{x,Rd2} = 1,0 \cdot 2,77 = 2,77 \frac{\text{кН}}{\text{см}}$$

$$0,51 \frac{\text{кН}}{\text{см}} < 2,77 \frac{\text{кН}}{\text{см}} \quad \text{Условие выполняется.}$$

5.2.3.3 Пояс 3

а) репрезентативное значение амплитуды несовершенства w_{ok} :

$$w_{ok3} = \frac{t_3}{Q} \sqrt{\frac{r}{t_3}} = \frac{0,9}{16} \sqrt{\frac{1425}{0,9}} = 2,24 \text{ см}$$

б) упругий понижающий коэффициент при наличии несовершенства α_0 в условиях отсутствия давления:

$$\alpha_{03} = \frac{0,62}{1 + 1,91 \psi \left(\frac{w_{ok3}}{t_3} \right)^{1,44}} = \frac{0,62}{1 + 1,91 \cdot 1 \left(\frac{2,24}{0,9} \right)^{1,44}} = 0,0766$$

где параметр неравномерности напряжений $\psi = 1$, т.к. имеет место случай равномерного сжатия по окружности.

в) упругий понижающий коэффициент при наличии несовершенства и давления α_{pe} определяется в следующей последовательности:

– критические напряжения потери устойчивости в упругой стадии:

$$\sigma_{x,Rcr3} = \frac{E}{\sqrt{3(1-\nu^2)}} \cdot \frac{t_3}{r} = 0,605 E \frac{t_3}{r} = 0,605 \cdot 2,1 \cdot 10^4 \cdot \frac{0,9}{1425} = 8,02 \text{ кН/см}^2$$

– наименьшее гарантированное значение локального внутреннего давления в данной расчетной точке:

$$\bar{p}_{s3} = \frac{p_{s3} r}{t_3 \sigma_{x,Rcr3}} = \frac{110 \cdot 10^{-4} \cdot 1425}{0,9 \cdot 8,02} = 2,171$$

где p_s – локальное внутреннее давление в данной расчетной точке, $p_{s3} = 110 \cdot 10^{-4} \text{ кН/см}^2$.

– значение упругого понижающего коэффициента:

$$\alpha_{pe3} = \alpha_{03} + (1 - \alpha_{03}) \left(\frac{\bar{p}_{s3}}{\bar{p}_{s3} + \frac{0,3}{\sqrt{\alpha_{03}}}} \right) = 0,0711 + (1 - 0,0766) \left(\frac{2,171}{2,171 + \frac{0,3}{\sqrt{0,0766}}} \right) = 0,6925$$

г) пластический понижающий коэффициент при наличии несовершенства определяется в следующей последовательности:

– наибольшее локальное давление в рассматриваемой точке, $p_{g3} = 165 \cdot 10^{-4} \text{ кН/см}^2$:

$$\bar{p}_{g3} = \frac{p_{g3}}{\sigma_{x,Rcr3}} \cdot \frac{r}{t_3} = \frac{165 \cdot 10^{-4}}{8,02} \cdot \frac{1425}{0,9} = 3,26$$

– параметр s :

$$s_3 = \left(\frac{1}{400} \right) \left(\frac{r}{t_3} \right) = \left(\frac{1}{400} \right) \left(\frac{1425}{0,9} \right) = 3,96$$

– квадрат условной гибкости:

$$\bar{\lambda}_{x3}^2 = \frac{f_y}{\sigma_{x,Rcr3}} = \frac{23,5}{8,02} = 2,93$$

– значение коэффициента:

$$\alpha_{pp3} = \left\{ 1 - \left(\frac{\bar{p}_{s3}}{\bar{\lambda}_{x3}^2} \right)^2 \right\} \left[1 - \frac{1}{1,12 + s_3^{3/2}} \right] \left[\frac{s_3^2 + 1,21\bar{\lambda}_{x3}^2}{s_3(s_3 + 1)} \right]$$

$$\alpha_{pp3} = \left\{ 1 - \left(\frac{2,171}{2,93} \right)^2 \right\} \left[1 - \frac{1}{1,12 + 3,96^{3/2}} \right] \left[\frac{3,96^2 + 1,21 \cdot 2,93}{3,96 \cdot (3,96 + 1)} \right] = 0,39215$$

д) т.к. $\alpha_{03} < \alpha_{pp3} < \alpha_{pe3}$ то $\alpha_3 = 0,3921$.

е) коэффициент снижения устойчивости χ_x определяется как функция относительной гибкости оболочки $\bar{\lambda}_x$:

$$\bar{\lambda}_{x3} = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{x,Rcr3}}} = \sqrt{\frac{23,5}{8,02}} = 1,711; \quad \bar{\lambda}_{03} = 0,2 \text{ и } \bar{\lambda}_{p3} = \sqrt{\frac{\alpha_3}{1 - \beta}} = \sqrt{\frac{0,3921}{1 - 0,6}} = 0,990$$

где: $\beta = 0,6$.

$$\text{т.к. } \bar{\lambda}_{p3} \leq \bar{\lambda}_{x3} \text{ то } \chi_{x3} = \frac{\alpha_3}{\bar{\lambda}_{x3}^2} = \frac{0,3921}{2,93} = 0,1339$$

ж) характеристическое значение критических напряжений потери устойчивости:

$$\sigma_{x,Rk3} = \chi_{x3} f_y = 0,1339 \cdot 23,5 = 3,15 \text{ кН/см}^2$$

з) расчетные мембранные напряжения при потере устойчивости:

$$\sigma_{x,Rd3} = \frac{\sigma_{x,Rk3}}{\gamma_{M1}} = \frac{3,15}{1,1} = 2,86 \text{ кН/см}^2$$

где γ_{M1} - частный коэффициент безопасности по предельному состоянию устойчивости, $\gamma_{M1} = 1,10$ по Пункту 2.9.2.2.3 СН РК EN 1993-4-2.

и) проверка устойчивости оболочки:

$$n_{x,Ed3} \leq t_3 \sigma_{x,Rd3}$$

$$t_3 \sigma_{x,Rd3} = 0,9 \cdot 2,86 = 2,57 \frac{\text{кН}}{\text{см}}$$

$$0,37 \frac{\text{кН}}{\text{см}} < 2,57 \frac{\text{кН}}{\text{см}} \quad \text{Условие выполняется.}$$

5.2.3.4. Пояс 4

а) репрезентативное значение амплитуды несовершенства w_{ok} :

$$w_{ok4} = \frac{t_4}{Q} \sqrt{\frac{r}{t_4}} = \frac{0,7}{16} \sqrt{\frac{1425}{0,7}} = 1,97 \text{ см}$$

б) упругий понижающий коэффициент при наличии несовершенства α_0 в условиях отсутствия давления:

$$\alpha_{04} = \frac{0,62}{1 + 1,91 \psi \left(\frac{w_{ok4}}{t_4} \right)^{1,44}} = \frac{0,62}{1 + 1,91 \cdot 1 \cdot \left(\frac{1,97}{0,7} \right)^{1,44}} = 0,0653$$

где параметр неравномерности напряжений $\psi = 1$, т.к. имеет место случай равномерного сжатия по окружности.

в) упругий понижающий коэффициент при наличии несовершенства и давления α_{pe} определяется в следующей последовательности:

– критические напряжения потери устойчивости в упругой стадии:

$$\sigma_{x,Rcr4} = \frac{E}{\sqrt{3(1 - \nu^2)}} \cdot \frac{t_4}{r} = 0,605 E \frac{t_4}{r} = 0,605 \cdot 2,1 \cdot 10^4 \cdot \frac{0,7}{1425} = 6,24 \text{ кН/см}^2$$

– наименьшее гарантированное значение локального внутреннего давления в данной расчетной точке:

$$\bar{p}_{s4} = \frac{p_{s4} r}{t_4 \sigma_{x,Rcr4}} = \frac{92,4 \cdot 10^{-4} \cdot 1425}{0,7 \cdot 6,24} = 3,014$$

где p_s – локальное внутреннее давление в данной расчетной точке, $p_{s4} = 92,54 \cdot 10^{-4}$ кН/см².

– значение упругого понижающего коэффициента:

$$\alpha_{pe4} = \alpha_{04} + (1 - \alpha_{04}) \left(\frac{\bar{p}_{s4}}{\bar{p}_{s4} + \frac{0,3}{\sqrt{\alpha_{04}}}} \right) = 0,0653 + (1 - 0,0653) \left(\frac{3,014}{3,014 + \frac{0,3}{\sqrt{0,0653}}} \right) = 0,7379$$

г) пластический понижающий коэффициент при наличии несовершенства определяется в следующей последовательности:

– наибольшее локальное давление в рассматриваемой точке, $p_{g4} = 138,6 \cdot 10^{-4}$ кН/см²:

$$\bar{p}_{g4} = \frac{p_{g4}}{\sigma_{x,Rcr4}} \cdot \frac{r}{t_4} = \frac{138,6 \cdot 10^{-4}}{6,24} \cdot \frac{1425}{0,7} = 4,52$$

– параметр s :

$$s_4 = \left(\frac{1}{400} \right) \left(\frac{r}{t_4} \right) = \left(\frac{1}{400} \right) \left(\frac{1425}{0,7} \right) = 5,09$$

– квадрат условной гибкости:

$$\bar{\lambda}_{x4}^2 = \frac{f_y}{\sigma_{x,Rcr4}} = \frac{23,5}{6,24} = 3,77$$

– значение коэффициента:

$$\alpha_{pp4} = \left\{ 1 - \left(\frac{\bar{p}_{s4}}{\bar{\lambda}_{x4}^2} \right)^2 \right\} \left[1 - \frac{1}{1,12 + s_4^{3/2}} \right] \left[\frac{s_4^2 + 1,21 \bar{\lambda}_{x4}^2}{s_4(s_4 + 1)} \right]$$

$$\alpha_{pp4} = \left\{ 1 - \left(\frac{3,014}{3,77} \right)^2 \right\} \left[1 - \frac{1}{1,12 + 5,09^{3/2}} \right] \left[\frac{5,09^2 + 1,21 \cdot 3,77}{5,09 \cdot (5,09 + 1)} \right] = 0,3251$$

д) т.к. $\alpha_{04} < \alpha_{pp4} < \alpha_{pe4}$ то $\alpha_4 = 0,3251$.

е) коэффициент снижения устойчивости χ_x определяется как функция относительной гибкости оболочки $\bar{\lambda}_x$:

$$\bar{\lambda}_{x4} = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{x,Rcr4}}} = \sqrt{\frac{23,5}{6,24}} = 1,94; \quad \bar{\lambda}_{04} = 0,2 \text{ и } \bar{\lambda}_{p4} = \sqrt{\frac{\alpha_4}{1 - \beta}} = \sqrt{\frac{0,3251}{1 - 0,6}} = 0,902$$

где: $\beta = 0,6$.

$$\text{т.к. } \bar{\lambda}_{p4} \leq \bar{\lambda}_{x4} \text{ то } \chi_{x4} = \frac{\alpha_4}{\bar{\lambda}_{x4}^2} = \frac{0,3251}{1,94} = 0,0863$$

ж) характеристическое значение критических напряжений потери устойчивости:

$$\sigma_{x,Rk4} = \chi_{x4} f_y = 0,0863 \cdot 23,5 = 2,03 \text{ кН/см}^2$$

з) расчетные мембранные напряжения при потере устойчивости:

$$\sigma_{x,Rd4} = \frac{\sigma_{x,Rk4}}{\gamma_{M1}} = \frac{2,03}{1,1} = 1,84 \text{ кН/см}^2$$

где γ_{M1} – частный коэффициент безопасности по предельному состоянию устойчивости, $\gamma_{M1} = 1,10$ по Пункту 2.9.2.2.3 СН РК EN 1993-4-2.

и) проверка устойчивости оболочки:

$$n_{x,Ed4} \leq t_4 \sigma_{x,Rd4}$$

$$t_4 \sigma_{x,Rd4} = 0,7 \cdot 1,84 = 1,29 \frac{\text{кН}}{\text{см}}$$

$$0,46 \frac{\text{кН}}{\text{см}} < 1,29 \frac{\text{кН}}{\text{см}} \quad \text{Условие выполняется.}$$

5.2.3.5. Пояс 5

а) репрезентативное значение амплитуды несовершенства w_{ok5} :

$$w_{ok5} = \frac{t_5}{Q} \sqrt{\frac{r}{t_5}} = \frac{0,6}{16} \sqrt{\frac{1425}{0,6}} = 1,83 \text{ см}$$

б) упругий понижающий коэффициент при наличии несовершенства α_0 в условиях отсутствия давления:

$$\alpha_{05} = \frac{0,62}{1 + 1,91 \psi \left(\frac{w_{ok5}}{t_5} \right)^{1,44}} = \frac{0,62}{1 + 1,91 \cdot 1 \left(\frac{1,83}{0,6} \right)^{1,44}} = 0,0591$$

где параметр неравномерности напряжений $\psi = 1$, т.к. имеет место случай равномерного сжатия по окружности.в) упругий понижающий коэффициент при наличии несовершенства и давления α_{pe} определяется в следующей последовательности:

– критические напряжения потери устойчивости в упругой стадии:

$$\sigma_{x,Rcr5} = \frac{E}{\sqrt{3(1-\nu^2)}} \cdot \frac{t_5}{r} = 0,605E \frac{t_5}{r} = 0,605 \cdot 2,1 \cdot 10^4 \cdot \frac{0,6}{1425} = 5,35 \text{ кН/см}^2$$

– наименьшее гарантированное значение локального внутреннего давления в данной расчетной точке:

$$\bar{p}_{s5} = \frac{p_{s5} r}{t_5 \sigma_{x,Rcr5}} = \frac{74,8 \cdot 10^{-4} \cdot 1425}{0,6 \cdot 5,35} = 3,321$$

где p_s – локальное внутреннее давление в данной расчетной точке, $p_{s5} = 74,8 \cdot 10^{-4} \text{ кН/см}^2$.

– значение упругого понижающего коэффициента:

$$\alpha_{pe5} = \alpha_{05} + (1 - \alpha_{05}) \left(\frac{\bar{p}_{s5}}{\bar{p}_{s5} + \frac{0,3}{\sqrt{\alpha_{05}}}} \right) = 0,0591 + (1 - 0,0591) \left(\frac{3,321}{3,321 + \frac{0,3}{\sqrt{0,0591}}} \right) = 0,745$$

г) пластический понижающий коэффициент при наличии несовершенства определяется в следующей последовательности:

– наибольшее локальное давление в рассматриваемой точке, $p_{g5} = 138,6 \cdot 10^{-4} \text{ кН/см}^2$:

$$\bar{p}_{g5} = \frac{p_{g5}}{\sigma_{x,Rcr5}} \cdot \frac{r}{t_5} = \frac{138,6 \cdot 10^{-4}}{5,35} \cdot \frac{1425}{0,6} = 4,98$$

– параметр s :

$$s_5 = \left(\frac{1}{400} \right) \left(\frac{r}{t_5} \right) = \left(\frac{1}{400} \right) \left(\frac{1425}{0,6} \right) = 5,94$$

– квадрат условной гибкости:

$$\bar{\lambda}_{x5}^2 = \frac{f_y}{\sigma_{x,Rcr5}} = \frac{23,5}{5,35} = 4,39$$

– значение коэффициента:

$$\alpha_{pp5} = \left\{ 1 - \left(\frac{\bar{p}_{s5}}{\bar{\lambda}_{x5}^2} \right)^2 \right\} \left[1 - \frac{1}{1,12 + s_5^{3/2}} \right] \left[\frac{s_5^2 + 1,21 \bar{\lambda}_{x5}^2}{s_5(s_5 + 1)} \right]$$

$$\alpha_{pp5} = \left\{ 1 - \left(\frac{3,321}{4,39} \right)^2 \right\} \left[1 - \frac{1}{1,12 + 5,94^{3/2}} \right] \left[\frac{5,94^2 + 1,21 \cdot 4,39}{5,94 \cdot (5,94 + 1)} \right] = 0,395$$

д) т.к. $\alpha_{05} < \alpha_{pp5} < \alpha_{pe5}$ то $\alpha_5 = 0,395$.

е) коэффициент снижения устойчивости χ_x определяется как функция относительной гибкости оболочки $\bar{\lambda}_x$:

$$\bar{\lambda}_{x5} = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{x,Rcr5}}} = \sqrt{\frac{23,5}{5,35}} = 2,096; \quad \bar{\lambda}_{05} = 0,2 \text{ и } \bar{\lambda}_{p5} = \sqrt{\frac{\alpha_5}{1 - \beta}} = \sqrt{\frac{0,395}{1 - 0,6}} = 0,994$$

где: $\beta = 0,6$.

$$\text{т.к. } \bar{\lambda}_{p5} \leq \bar{\lambda}_{x5} \text{ то } \chi_{x5} = \frac{\alpha_5}{\bar{\lambda}_{x5}^2} = \frac{0,395}{4,39} = 0,0899$$

ж) характеристическое значение критических напряжений потери устойчивости:

$$\sigma_{x,Rk5} = \chi_{x5} f_y = 0,0863 \cdot 23,5 = 2,11 \text{ кН/см}^2$$

з) расчетные мембранные напряжения при потере устойчивости:

$$\sigma_{x,Rd5} = \frac{\sigma_{x,Rk5}}{\gamma_{M1}} = \frac{2,11}{1,1} = 1,92 \text{ кН/см}^2$$

где γ_{M1} — частный коэффициент безопасности по предельному состоянию устойчивости, $\gamma_{M1} = 1,10$ по Пункту 2.9.2.2.3 СН РК EN 1993-4-2.

и) проверка устойчивости оболочки:

$$n_{x,Ed5} \leq t_5 \sigma_{x,Rd5}$$

$$t_5 \sigma_{x,Rd5} = 0,6 \cdot 1,92 = 1,15 \frac{\text{кН}}{\text{см}}$$

$$0,48 \frac{\text{кН}}{\text{см}} < 1,15 \frac{\text{кН}}{\text{см}} \quad \text{Условие выполняется.}$$

5.2.3.6. Пояс 6

а) репрезентативное значение амплитуды несовершенства w_{ok} :

$$w_{ok6} = \frac{t_6}{Q} \sqrt{\frac{r}{t_6}} = \frac{0,6}{16} \sqrt{\frac{1425}{0,6}} = 1,83 \text{ см}$$

б) упругий понижающий коэффициент при наличии несовершенства α_0 в условиях отсутствия давления:

$$\alpha_{06} = \frac{0,62}{1 + 1,91 \psi \left(\frac{w_{ok6}}{t_6} \right)^{1,44}} = \frac{0,62}{1 + 1,91 \cdot 1 \left(\frac{1,83}{0,6} \right)^{1,44}} = 0,0591$$

где параметр неравномерности напряжений $\psi = 1$, т.к. имеет место случай равномерного сжатия по окружности.

в) упругий понижающий коэффициент при наличии несовершенства и давления α_{pe} определяется в следующей последовательности:

– критические напряжения потери устойчивости в упругой стадии:

$$\sigma_{x,Rcr6} = \frac{E}{\sqrt{3(1 - \nu^2)}} \cdot \frac{t_6}{r} = 0,605 E \frac{t_6}{r} = 0,605 \cdot 2,1 \cdot 10^4 \cdot \frac{0,6}{1425} = 5,35 \text{ кН/см}^2$$

– наименьшее гарантированное значение локального внутреннего давления в данной расчетной точке:

$$\bar{p}_{s6} = \frac{p_{s6} r}{t_6 \sigma_{x,Rcr6}} = \frac{57,2 \cdot 10^{-4} \cdot 1425}{0,6 \cdot 5,35} = 2,54$$

где p_s – локальное внутреннее давление в данной расчетной точке, $p_{s6} = 57,2 \cdot 10^{-4} \text{ кН/см}^2$.

– значение упругого понижающего коэффициента:

$$\alpha_{pe6} = \alpha_{06} + (1 - \alpha_{06}) \left(\frac{\bar{p}_{s6}}{\bar{p}_{s6} + \frac{0,3}{\sqrt{\alpha_{06}}}} \right) = 0,0591 + (1 - 0,0591) \left(\frac{2,54}{2,54 + \frac{0,3}{\sqrt{0,0591}}} \right) = 0,6922$$

г) пластический понижающий коэффициент при наличии несовершенства определяется в следующей последовательности:

– наибольшее локальное давление в рассматриваемой точке, $p_{g6} = 85,8 \cdot 10^{-4} \text{ кН/см}^2$:

$$\bar{p}_{g6} = \frac{p_{g6}}{\sigma_{x,Rcr6}} \cdot \frac{r}{t_6} = \frac{85,8 \cdot 10^{-4}}{5,35} \cdot \frac{1425}{0,6} = 3,81$$

– параметр s :

$$s_6 = \left(\frac{1}{400} \right) \left(\frac{r}{t_6} \right) = \left(\frac{1}{400} \right) \left(\frac{1425}{0,6} \right) = 5,94$$

– квадрат условной гибкости:

$$\bar{\lambda}_{x6}^2 = \frac{f_y}{\sigma_{x,Rcr6}} = \frac{23,5}{5,35} = 4,39$$

– значение коэффициента:

$$\alpha_{pp6} = \left\{ 1 - \left(\frac{\bar{p}_{s6}}{\bar{\lambda}_{x6}^2} \right)^2 \right\} \left[1 - \frac{1}{1,12 + s_6^{3/2}} \right] \left[\frac{s_6^2 + 1,21 \bar{\lambda}_{x6}^2}{s_6(s_6 + 1)} \right]$$

$$\alpha_{pp6} = \left\{ 1 - \left(\frac{2,54}{4,39} \right)^2 \right\} \left[1 - \frac{1}{1,12 + 5,94^{3/2}} \right] \left[\frac{5,94^2 + 1,21 \cdot 4,39}{5,94 \cdot (5,94 + 1)} \right] = 0,6137$$

д) т.к. $\alpha_{06} < \alpha_{pp6} < \alpha_{pe6}$ то $\alpha_6 = 0,6137$.

е) коэффициент снижения устойчивости χ_x определяется как функция относительной гибкости оболочки $\bar{\lambda}_x$:

$$\bar{\lambda}_{x6} = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{x,Rcr6}}} = \sqrt{\frac{23,5}{5,35}} = 2,096; \quad \bar{\lambda}_{06} = 0,2 \text{ и } \bar{\lambda}_{p6} = \sqrt{\frac{\alpha_6}{1 - \beta}} = \sqrt{\frac{0,6137}{1 - 0,6}} = 1,239$$

где: $\beta = 0,6$.

$$\text{т.к. } \bar{\lambda}_{p6} \leq \bar{\lambda}_{x6} \text{ то } \chi_{x6} = \frac{\alpha_6}{\bar{\lambda}_{x6}^2} = \frac{0,6137}{4,39} = 0,1397$$

ж) характеристическое значение критических напряжений потери устойчивости:

$$\sigma_{x,Rk6} = \chi_{x6} f_y = 0,1397 \cdot 23,5 = 3,28 \text{ кН/см}^2$$

з) расчетные мембранные напряжения при потере устойчивости:

$$\sigma_{x,Rd6} = \frac{\sigma_{x,Rk6}}{\gamma_{M1}} = \frac{3,28}{1,1} = 2,98 \text{ кН/см}^2$$

где γ_{M1} — частный коэффициент безопасности по предельному состоянию устойчивости, $\gamma_{M1} = 1,10$ по Пункту 2.9.2.2.3 СН РК EN 1993-4-2.

и) проверка устойчивости оболочки:

$$n_{x,Ed6} \leq t_6 \sigma_{x,Rd6}$$

$$t_6 \sigma_{x,Rd6} = 0,6 \cdot 2,98 = 1,79 \frac{\text{кН}}{\text{см}}$$

$$0,42 \frac{\text{кН}}{\text{см}} < 1,79 \frac{\text{кН}}{\text{см}} \quad \text{Условие выполняется.}$$

5.2.3.7. Пояс 7

а) репрезентативное значение амплитуды несовершенства w_{ok} :

$$w_{ok7} = \frac{t_7}{Q} \sqrt{\frac{r}{t_7}} = \frac{0,6}{16} \sqrt{\frac{1425}{0,6}} = 1,83 \text{ см}$$

б) упругий понижающий коэффициент при наличии несовершенства α_0 в условиях отсутствия давления:

$$\alpha_{07} = \frac{0,62}{1 + 1,91\psi \left(\frac{w_{ok7}}{t_7}\right)^{1,44}} = \frac{0,62}{1 + 1,91 \cdot 1 \left(\frac{1,83}{0,6}\right)^{1,44}} = 0,0591$$

где параметр неравномерности напряжений $\psi = 1$, т.к. имеет место случай равномерного сжатия по окружности.

в) упругий понижающий коэффициент при наличии несовершенства и давления α_{pe} определяется в следующей последовательности:

– критические напряжения потери устойчивости в упругой стадии:

$$\sigma_{x,Rcr7} = \frac{E}{\sqrt{3(1-\nu^2)}} \cdot \frac{t_7}{r} = 0,605E \frac{t_7}{r} = 0,605 \cdot 2,1 \cdot 10^4 \cdot \frac{0,6}{1425} = 5,35 \text{ кН/см}^2$$

– наименьшее гарантированное значение локального внутреннего давления в данной расчетной точке:

$$\bar{p}_{s7} = \frac{p_{s7}r}{t_7\sigma_{x,Rcr7}} = \frac{39,6 \cdot 10^{-4} \cdot 1425}{0,6 \cdot 5,35} = 1,758$$

где p_s – локальное внутреннее давление в данной расчетной точке, $p_{s7} = 39,6 \cdot 10^{-4} \text{ кН/см}^2$.

– значение упругого понижающего коэффициента:

$$\alpha_{pe7} = \alpha_{07} + (1 - \alpha_{07}) \left(\frac{\bar{p}_{s7}}{\bar{p}_{s7} + \frac{0,3}{\sqrt{\alpha_{07}}}} \right) = 0,0591 + (1 - 0,0591) \left(\frac{1,758}{1,758 + \frac{0,3}{\sqrt{0,0591}}} \right) = 0,6119$$

г) пластический понижающий коэффициент при наличии несовершенства определяется в следующей последовательности:

– наибольшее локальное давление в рассматриваемой точке, $p_{g7} = 59,4 \cdot 10^{-4} \text{ кН/см}^2$:

$$\bar{p}_{g7} = \frac{p_{g7}}{\sigma_{x,Rcr7}} \cdot \frac{r}{t_7} = \frac{59,4 \cdot 10^{-4}}{5,35} \cdot \frac{1425}{0,6} = 2,64$$

– параметр s :

$$s_7 = \left(\frac{1}{400}\right) \left(\frac{r}{t_7}\right) = \left(\frac{1}{400}\right) \left(\frac{1425}{0,6}\right) = 5,94$$

– квадрат условной гибкости:

$$\bar{\lambda}_{x7}^2 = \frac{f_y}{\sigma_{x,Rcr7}} = \frac{23,5}{5,35} = 4,39$$

– значение коэффициента:

$$\alpha_{pp7} = \left\{ 1 - \left(\frac{\bar{p}_{s7}}{\bar{\lambda}_{x7}^2} \right)^2 \right\} \left[1 - \frac{1}{1,12 + s_7^{3/2}} \right] \left[\frac{s_7^2 + 1,21\bar{\lambda}_{x7}^2}{s_7(s_7 + 1)} \right]$$

$$\alpha_{pp7} = \left\{ 1 - \left(\frac{1,758}{4,39} \right)^2 \right\} \left[1 - \frac{1}{1,12 + 5,94^{3/2}} \right] \left[\frac{5,94^2 + 1,21 \cdot 4,39}{5,94 \cdot (5,94 + 1)} \right] = 0,7741$$

д) т.к. $\alpha_{07} < \alpha_{pe7} < \alpha_{pp7}$ то $\alpha_7 = 0,6119$.

е) коэффициент снижения устойчивости χ_x определяется как функция относительной гибкости оболочки λ_x :

$$\bar{\lambda}_{x7} = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{x,Rcr7}}} = \sqrt{\frac{23,5}{5,35}} = 2,096; \quad \bar{\lambda}_{07} = 0,2 \text{ и } \bar{\lambda}_{p7} = \sqrt{\frac{\alpha_7}{1-\beta}} = \sqrt{\frac{0,6119}{1-0,6}} = 2,096$$

где: $\beta = 0,6$.

$$\text{т. к. } \bar{\lambda}_{p7} \leq \bar{\lambda}_{x7} \text{ то } \chi_{x7} = \frac{\alpha_7}{\bar{\lambda}_{x7}^2} = \frac{0,6119}{4,39} = 0,1393$$

ж) характеристическое значение критических напряжений потери устойчивости:

$$\sigma_{x,Rk7} = \chi_{x7} f_y = 0,1393 \cdot 23,5 = 3,27 \text{ кН/см}^2$$

з) расчетные мембранные напряжения при потере устойчивости:

$$\sigma_{x,Rd7} = \frac{\sigma_{x,Rk7}}{\gamma_{M1}} = \frac{3,27}{1,1} = 2,98 \text{ кН/см}^2$$

где γ_{M1} — частный коэффициент безопасности по предельному состоянию устойчивости, $\gamma_{M1} = 1,10$ по Пункту 2.9.2.2.3 СН РК EN 1993-4-2.

и) проверка устойчивости оболочки:

$$n_{x,Ed7} \leq t_7 \sigma_{x,Rd7}$$

$$t_7 \sigma_{x,Rd7} = 0,6 \cdot 2,98 = 1,79 \frac{\text{кН}}{\text{см}}$$

$$0,3 \frac{\text{кН}}{\text{см}} < 1,79 \frac{\text{кН}}{\text{см}} \quad \text{Условие выполняется.}$$

5.2.3.8. Пояс 8

а) репрезентативное значение амплитуды несовершенства w_{ok} :

$$w_{ok8} = \frac{t_8}{Q} \sqrt{\frac{r}{t_8}} = \frac{0,6}{16} \sqrt{\frac{1425}{0,6}} = 1,83 \text{ см}$$

б) упругий понижающий коэффициент при наличии несовершенства α_0 в условиях отсутствия давления:

$$\alpha_{08} = \frac{0,62}{1 + 1,91 \psi \left(\frac{w_{ok8}}{t_8} \right)^{1,44}} = \frac{0,62}{1 + 1,91 \cdot 1 \left(\frac{1,83}{0,6} \right)^{1,44}} = 0,0591$$

где параметр неравномерности напряжений $\psi = 1$, т.к. имеет место случай равномерного сжатия по окружности.

в) упругий понижающий коэффициент при наличии несовершенства и давления α_{pe} определяется в следующей последовательности:

– критические напряжения потери устойчивости в упругой стадии:

$$\sigma_{x,Rcr8} = \frac{E}{\sqrt{3(1-\nu^2)}} \cdot \frac{t_8}{r} = 0,605 E \frac{t_8}{r} = 0,605 \cdot 2,1 \cdot 10^4 \cdot \frac{0,6}{1425} = 5,35 \text{ кН/см}^2$$

– наименьшее гарантированное значение локального внутреннего давления в данной расчетной точке:

$$\bar{p}_{s8} = \frac{p_{s8} r}{t_8 \sigma_{x,Rcr8}} = \frac{22 \cdot 10^{-4} \cdot 1425}{0,6 \cdot 5,35} = 0,977$$

где p_s – локальное внутреннее давление в данной расчетной точке, $p_{s8} = 22 \cdot 10^{-4} \text{ кН/см}^2$.

– значение упругого понижающего коэффициента:

$$\alpha_{pe8} = \alpha_{08} + (1 - \alpha_{08}) \left(\frac{\bar{p}_{s8}}{\bar{p}_{s8} + \frac{0,3}{\sqrt{\alpha_{08}}}} \right) = 0,0591 + (1 - 0,0591) \left(\frac{0,977}{0,977 + \frac{0,3}{\sqrt{0,0591}}} \right) = 0,4747$$

г) пластический понижающий коэффициент при наличии несовершенства определяется в

следующей последовательности:

- наибольшее локальное давление в рассматриваемой точке, $p_{g8} = 33 \cdot 10^{-4} \text{ кН/см}^2$:

$$\bar{p}_{g8} = \frac{p_{g8}}{\sigma_{x,Rcr8}} \cdot \frac{r}{t_8} = \frac{33 \cdot 10^{-4}}{5,35} \cdot \frac{1425}{0,6} = 1,47$$

- параметр s :

$$s_8 = \left(\frac{1}{400} \right) \left(\frac{r}{t_8} \right) = \left(\frac{1}{400} \right) \left(\frac{1425}{0,6} \right) = 5,94$$

- квадрат условной гибкости:

$$\bar{\lambda}_{x8}^2 = \frac{f_y}{\sigma_{x,Rcr8}} = \frac{23,5}{5,35} = 4,39$$

- значение коэффициента:

$$\alpha_{pp8} = \left\{ 1 - \left(\frac{\bar{p}_{s8}}{\bar{\lambda}_{x8}^2} \right)^2 \right\} \left[1 - \frac{1}{1,12 + s_8^{3/2}} \right] \left[\frac{s_8^2 + 1,21 \bar{\lambda}_{x8}^2}{s_8(s_8 + 1)} \right]$$

$$\alpha_{pp8} = \left\{ 1 - \left(\frac{0,977}{4,39} \right)^2 \right\} \left[1 - \frac{1}{1,12 + 5,94^{3/2}} \right] \left[\frac{5,94^2 + 1,21 \cdot 4,39}{5,94 \cdot (5,94 + 1)} \right] = 0,8762$$

- д) т.к. $\alpha_{08} < \alpha_{pe8} < \alpha_{pp8}$ то $\alpha_8 = 0,4747$.

- е) коэффициент снижения устойчивости χ_x определяется как функция относительной гибкости оболочки $\bar{\lambda}_x$:

$$\bar{\lambda}_{x8} = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{x,Rcr8}}} = \sqrt{\frac{23,5}{5,35}} = 2,096; \quad \bar{\lambda}_0 = 0,2 \text{ и } \bar{\lambda}_{p8} = \sqrt{\frac{\alpha_8}{1 - \beta}} = \sqrt{\frac{0,4747}{1 - 0,6}} = 1,089$$

где: $\beta = 0,6$.

$$\text{т.к. } \bar{\lambda}_{p8} \leq \bar{\lambda}_{x8} \text{ то } \chi_{x8} = \frac{\alpha_8}{\bar{\lambda}_{x8}^2} = \frac{0,4747}{4,39} = 0,1081$$

- ж) характеристическое значение критических напряжений потери устойчивости:

$$\sigma_{x,Rk8} = \chi_{x8} f_y = 0,1081 \cdot 23,5 = 2,54 \text{ кН/см}^2$$

- з) расчетные мембранные напряжения при потере устойчивости:

$$\sigma_{x,Rd8} = \frac{\sigma_{x,Rk8}}{\gamma_{M1}} = \frac{2,54}{1,1} = 2,31 \text{ кН/см}^2$$

где γ_{M1} — частный коэффициент безопасности по предельному состоянию устойчивости, $\gamma_{M1} = 1,10$ по Пункту 2.9.2.2.3 СН РК EN 1993-4-2.

- и) проверка устойчивости оболочки:

$$n_{x,Ed8} \leq t_8 \sigma_{x,Rd8}$$

$$t_8 \sigma_{x,Rd8} = 0,6 \cdot 2,31 = 1,39 \frac{\text{кН}}{\text{см}}$$

$$0,23 \frac{\text{кН}}{\text{см}} < 1,39 \frac{\text{кН}}{\text{см}} \quad \text{Условие выполняется.}$$

5.2.3.9. Пояс 9

- а) репрезентативное значение амплитуды несовершенства w_{ok} :

$$w_{ok9} = \frac{t_9}{Q} \sqrt{\frac{r}{t_9}} = \frac{0,6}{16} \sqrt{\frac{1425}{0,6}} = 1,83 \text{ см}$$

- б) упругий понижающий коэффициент при наличии несовершенства α_0 в условиях отсутствия давления:

$$\alpha_{09} = \frac{0,62}{1 + 1,91\psi \left(\frac{w_{0k9}}{t_9}\right)^{1,44}} = \frac{0,62}{1 + 1,91 \cdot 1 \left(\frac{1,83}{0,6}\right)^{1,44}} = 0,0591$$

где параметр неравномерности напряжений $\psi = 1$, т.к. имеет место случай равномерного сжатия по окружности.

в) упругий понижающий коэффициент при наличии несовершенства и давления α_{pe} определяется в следующей последовательности:

– критические напряжения потери устойчивости в упругой стадии:

$$\sigma_{x,Rcr9} = \frac{E}{\sqrt{3(1-\nu^2)}} \cdot \frac{t_9}{r} = 0,605E \frac{t_9}{r} = 0,605 \cdot 2,1 \cdot 10^4 \cdot \frac{0,6}{1425} = 5,35 \text{ кН/см}^2$$

– наименьшее гарантированное значение локального внутреннего давления в данной расчетной точке:

$$\bar{p}_{s9} = \frac{p_{s9}r}{t_9\sigma_{x,Rcr9}} = \frac{4,4 \cdot 10^{-4} \cdot 1425}{0,6 \cdot 5,35} = 0,195$$

где p_s – локальное внутреннее давление в данной расчетной точке, $p_{s9} = 4,4 \cdot 10^{-4} \text{ кН/см}^2$.

– значение упругого понижающего коэффициента:

$$\alpha_{pe9} = \alpha_{09} + (1 - \alpha_{09}) \left(\frac{\bar{p}_{s9}}{\bar{p}_{s9} + \frac{0,3}{\sqrt{\alpha_{09}}}} \right) = 0,0591 + (1 - 0,0591) \left(\frac{0,195}{0,195 + \frac{0,3}{\sqrt{0,0591}}} \right) = 0,1876$$

г) пластический понижающий коэффициент при наличии несовершенства определяется в следующей последовательности:

– наибольшее локальное давление в рассматриваемой точке, $p_{g9} = 6,6 \cdot 10^{-4} \text{ кН/см}^2$:

$$\bar{p}_{g9} = \frac{p_{g9}}{\sigma_{x,Rcr9}} \cdot \frac{r}{t_9} = \frac{6,6 \cdot 10^{-4}}{5,35} \cdot \frac{1425}{0,6} = 0,29$$

– параметр s :

$$s_9 = \left(\frac{1}{400}\right) \left(\frac{r}{t_9}\right) = \left(\frac{1}{400}\right) \left(\frac{1425}{6}\right) = 5,94$$

– квадрат условной гибкости:

$$\bar{\lambda}_{x9}^2 = \frac{f_y}{\sigma_{x,Rcr9}} = \frac{23,5}{5,35} = 4,39$$

– значение коэффициента:

$$\alpha_{pp9} = \left\{ 1 - \left(\frac{\bar{p}_{s9}}{\bar{\lambda}_{x9}^2} \right)^2 \right\} \left[1 - \frac{1}{1,12 + s_9^{3/2}} \right] \left[\frac{s_9^2 + 1,21\bar{\lambda}_{x9}^2}{s_9(s_9 + 1)} \right]$$

$$\alpha_{pp9} = \left\{ 1 - \left(\frac{0,195}{4,39} \right)^2 \right\} \left[1 - \frac{1}{1,12 + 5,94^{3/2}} \right] \left[\frac{5,94^2 + 1,21 \cdot 4,39}{5,94 \cdot (5,94 + 1)} \right] = 0,9199$$

д) т.к. $\alpha_{09} < \alpha_{pe9} < \alpha_{pp9}$ то $\alpha_9 = 0,1876$.

е) коэффициент снижения устойчивости χ_x определяется как функция относительной гибкости оболочки $\bar{\lambda}_x$:

$$\bar{\lambda}_{x9} = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{x,Rcr9}}} = \sqrt{\frac{23,5}{5,35}} = 2,096; \quad \bar{\lambda}_0 = 0,2 \text{ и } \bar{\lambda}_{p9} = \sqrt{\frac{\alpha_9}{1-\beta}} = \sqrt{\frac{0,1876}{1-0,6}} = 0,685$$

где: $\beta = 0,6$.

$$\text{т.к. } \bar{\lambda}_{p9} \leq \bar{\lambda}_{x9} \text{ то } \chi_{x9} = \frac{\alpha_9}{\bar{\lambda}_{x9}^2} = \frac{0,1876}{4,39} = 0,0427$$

ж) характеристическое значение критических напряжений потери устойчивости:

$$\sigma_{x,Rk9} = \chi_{x9} f_y = 0,0427 \cdot 23,5 = 1,00 \text{ кН/см}^2$$

з) расчетные мембранные напряжения при потере устойчивости:

$$\sigma_{x,Rd9} = \frac{\sigma_{x,Rk9}}{\gamma_{M1}} = \frac{1}{1,1} = 0,91 \text{ кН/см}^2$$

где γ_{M1} - частный коэффициент безопасности по предельному состоянию устойчивости, $\gamma_{M1} = 1,10$ по Пункту 2.9.2.2.3 СН РК EN 1993-4-2.

и) проверка устойчивости оболочки:

$$n_{x,Ed9} \leq t_9 \sigma_{x,Rd9}$$

$$t_9 \sigma_{x,Rd9} = 0,6 \cdot 0,91 = 0,55 \frac{\text{кН}}{\text{см}}$$

$$0,21 \frac{\text{кН}}{\text{см}} < 0,55 \frac{\text{кН}}{\text{см}} \quad \text{Условие выполняется.}$$

5.2.4. Методика расчета на устойчивость пустого резервуара при давлении ветра

а) критическое наружное давление потери устойчивости изотропной стенки определяется по Формуле 5.38 СН РК EN 1993-4-1:

$$p_{n,Rcru} = 0,92 \cdot C_b \cdot C_w \cdot E \cdot \left(\frac{r}{l}\right) \cdot \left(\frac{t}{r}\right)^{2,5}$$

где t – толщина самой тонкой части рассматриваемого пояса (см);

$r = 1425$ см – радиус резервуара;

l – расстояние между кольцами жесткости или границами сегмента; изначально предполагается, что кольца жесткости по резервуару отсутствуют, поэтому $l = H_{\text{стенки}} = 1800$ см;

$E = 2,1 \cdot 10^4$ кН/см² – модуль упругости стали;

C_b – коэффициент продольного изгиба под воздействием наружного давления;

Коэффициент $C_b = 1,0$ по Таблице 5.2 СН РК EN 1993-4-1, поскольку крыша полностью соединена со стенкой.

C_w – коэффициент распределения ветрового давления.

Поскольку резервуар является отдельно стоящим и находится под действием только ветровой нагрузки, коэффициент распределения ветрового давления, относящийся к давлению на наветренную сторону резервуара, принимается как наибольшее значение из Пункта 5.3.2.5 (8) СН РК EN 1993-4-1:

$$C_w = \max \left\{ \frac{2,2}{\left(1 + 0,1 \cdot \sqrt{C_b \cdot \frac{r}{l} \cdot \sqrt{\frac{r}{t}}}\right)}; 1,0; \right.$$

б) максимальное расчетное наружное давление, под действием ветра и/или частичного вакуума определяется по Формуле 5.41 СН РК EN 1993-4-1:

$$p_{n,Rd} = \frac{\alpha_n \cdot p_{n,Rcru}}{\gamma_{M1}}$$

где α_n - упругий понижающий коэффициент при наличии несовершенства, $\alpha_n = 0,5$ по Пункту 5.3.2.5 (10) СН РК EN 1993-4-1.

γ_{M1} - частный коэффициент безопасности по предельному состоянию устойчивости, $\gamma_{M1} = 1,10$ по Пункту 2.9.2.2.3 СН РК EN 1993-4-2.

в) несущая способность для обеспечения устойчивости должна удовлетворять следующему условию:

$$p_{n,Ed} \leq p_{n,Rd}$$

где $p_{n,Ed}$ - расчетное значение максимального наружного давления ветра, принимается по Таблице 3.

5.2.5 Расчет устойчивости по поясам

5.2.5.1 Пояс 1

Определяем коэффициент распределения ветрового давления, C_w :

$$C_w = \max \left\{ \frac{2,2}{\left(1 + 0,1 \cdot \sqrt{C_b \cdot \frac{r}{l} \cdot \sqrt{\frac{r}{t}}}\right)} = \frac{2,2}{\left(1 + 0,1 \cdot \sqrt{1 \cdot \frac{1425}{1800} \cdot \sqrt{\frac{1425}{1,2}}}\right)} = 1,445; \right. \\ \left. 1,0; \right.$$

Принимаем $C_w = 1,445$.

Определяем критическое наружное давление потери устойчивости изотропной стенки:

$$p_{n,Rcru} = 0,92 \cdot C_b \cdot C_w \cdot E \cdot \left(\frac{r}{l}\right) \cdot \left(\frac{t}{r}\right)^{2,5} = \\ = 0,92 \cdot 1 \cdot 1,445 \cdot 2,1 \cdot 10^4 \cdot \left(\frac{1425}{1800}\right) \cdot \left(\frac{1,2}{1425}\right)^{2,5} = 0,455 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}$$

Определяем максимальное расчетное наружное давление, под действием ветра:

$$p_{n,Rd} = \frac{\alpha_n \cdot p_{n,Rcru}}{\gamma_{M1}} = \frac{0,5 \cdot 0,455 \cdot 10^{-3}}{1,1} = 0,207 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}$$

По Таблице 3 $p_{n,Ed} = 0,029 \cdot 10^{-3} \text{ кН/см}^2$

Таким образом

$$p_{n,Ed} = 0,029 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} < p_{n,Rd} = 0,207 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}$$

Устойчивость 1-го пояса пустого резервуара при давлении ветра обеспечена.

5.2.5.2 Пояс 2

Определяем коэффициент распределения ветрового давления, C_w :

$$C_w = \max \left\{ \frac{2,2}{\left(1 + 0,1 \cdot \sqrt{C_b \cdot \frac{r}{l} \cdot \sqrt{\frac{r}{t}}}\right)} = \frac{2,2}{\left(1 + 0,1 \cdot \sqrt{1 \cdot \frac{1425}{1800} \cdot \sqrt{\frac{1425}{1,0}}}\right)} = 1,422; \right. \\ \left. 1,0; \right.$$

Принимаем $C_w = 1,422$.

Определяем критическое наружное давление потери устойчивости изотропной стенки:

$$p_{n,Rcru} = 0,92 \cdot C_b \cdot C_w \cdot E \cdot \left(\frac{r}{l}\right) \cdot \left(\frac{t}{r}\right)^{2,5} = \\ = 0,92 \cdot 1 \cdot 1,422 \cdot 2,1 \cdot 10^4 \cdot \left(\frac{1425}{1800}\right) \cdot \left(\frac{1,0}{1425}\right)^{2,5} = 0,284 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}$$

Определяем максимальное расчетное наружное давление, под действием ветра:

$$p_{n,Rd} = \frac{\alpha_n \cdot p_{n,Rcru}}{\gamma_{M1}} = \frac{0,5 \cdot 0,284 \cdot 10^{-3}}{1,1} = 0,129 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}$$

По Таблице 3 $p_{n,Ed} = 0,029 \cdot 10^{-3} \text{ кН/см}^2$

Таким образом

$$p_{n,Ed} = 0,029 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} < p_{n,Rd} = 0,129 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}$$

Устойчивость 2-го пояса пустого резервуара при давлении ветра обеспечена.

5.2.5.3 Пояс 3

Определяем коэффициент распределения ветрового давления, C_w :

$$C_w = \max \left\{ \frac{2,2}{\left(1 + 0,1 \cdot \sqrt{C_b \cdot \frac{r}{l} \cdot \sqrt{\frac{r}{t}}}\right)} = \frac{2,2}{\left(1 + 0,1 \cdot \sqrt{1 \cdot \frac{1425}{1800} \cdot \sqrt{\frac{1425}{0,9}}}\right)} = 1,409; \right. \\ \left. 1,0; \right.$$

Принимаем $C_w = 1,409$.

Определяем критическое наружное давление потери устойчивости изотропной стенки:

$$p_{n,Rcru} = 0,92 \cdot C_b \cdot C_w \cdot E \cdot \left(\frac{r}{l}\right) \cdot \left(\frac{t}{r}\right)^{2,5} = \\ = 0,92 \cdot 1 \cdot 1,409 \cdot 2,1 \cdot 10^4 \cdot \left(\frac{1425}{1800}\right) \cdot \left(\frac{0,9}{1425}\right)^{2,5} = 0,216 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}$$

Определяем максимальное расчетное наружное давление, под действием ветра:

$$p_{n,Rd} = \frac{\alpha_n \cdot p_{n,Rcru}}{\gamma_{M1}} = \frac{0,5 \cdot 0,216 \cdot 10^{-3}}{1,1} = 0,098 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}$$

По Таблице 3 $p_{n,Ed} = 0,029 \cdot 10^{-3} \text{ кН/см}^2$

Таким образом

$$p_{n,Ed} = 0,029 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} < p_{n,Rd} = 0,098 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}$$

Устойчивость 3-го пояса пустого резервуара при давлении ветра обеспечена.

5.2.5.4 Пояс 4

Определяем коэффициент распределения ветрового давления, C_w :

$$C_w = \max \left\{ \frac{2,2}{\left(1 + 0,1 \cdot \sqrt{C_b \cdot \frac{r}{l} \cdot \sqrt{\frac{r}{t}}}\right)} = \frac{2,2}{\left(1 + 0,1 \cdot \sqrt{1 \cdot \frac{1425}{1800} \cdot \sqrt{\frac{1425}{0,7}}}\right)} = 1,377; \right. \\ \left. 1,0; \right.$$

Принимаем $C_w = 1,377$.

Определяем критическое наружное давление потери устойчивости изотропной стенки:

$$p_{n,Rcru} = 0,92 \cdot C_b \cdot C_w \cdot E \cdot \left(\frac{r}{l}\right) \cdot \left(\frac{t}{r}\right)^{2,5} = \\ = 0,92 \cdot 1 \cdot 1,377 \cdot 2,1 \cdot 10^4 \cdot \left(\frac{1425}{1800}\right) \cdot \left(\frac{0,7}{1425}\right)^{2,5} = 0,113 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}$$

Определяем максимальное расчетное наружное давление, под действием ветра:

$$p_{n,Rd} = \frac{\alpha_n \cdot p_{n,Rcru}}{\gamma_{M1}} = \frac{0,5 \cdot 0,113 \cdot 10^{-3}}{1,1} = 0,051 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}$$

По Таблице 3 $p_{n,Ed} = 0,033 \cdot 10^{-3} \text{ кН/см}^2$

Таким образом

$$p_{n,Ed} = 0,033 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} < p_{n,Rd} = 0,051 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}$$

Устойчивость 4-го пояса пустого резервуара при давлении ветра обеспечена.

5.2.5.5 Пояса 5...9

Определяем коэффициент распределения ветрового давления, C_w :

$$C_w = \max \left\{ \frac{2,2}{\left(1 + 0,1 \cdot \sqrt{C_b \cdot \frac{r}{l} \cdot \sqrt{\frac{r}{t}}}\right)} = \frac{2,2}{\left(1 + 0,1 \cdot \sqrt{1 \cdot \frac{1425}{1800} \cdot \sqrt{\frac{1425}{0,6}}}\right)} = 1,357; \right.$$

$$\left. 1,0; \right\}$$

Принимаем $C_w = 1,357$.

Определяем критическое наружное давление потери устойчивости изотропной стенки:

$$p_{n,Rcru} = 0,92 \cdot C_b \cdot C_w \cdot E \cdot \left(\frac{r}{l}\right) \cdot \left(\frac{t}{r}\right)^{2,5} =$$

$$= 0,92 \cdot 1 \cdot 1,357 \cdot 2,1 \cdot 10^4 \cdot \left(\frac{1425}{1800}\right) \cdot \left(\frac{0,6}{1425}\right)^{2,5} = 0,076 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}$$

Определяем максимальное расчетное наружное давление, под действием ветра:

$$p_{n,Rd} = \frac{\alpha_n \cdot p_{n,Rcru}}{\gamma_{M1}} = \frac{0,5 \cdot 0,076 \cdot 10^{-3}}{1,1} = 0,034 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}$$

По Таблице 3 $p_{n,Ed} = (0,038 - 0,047) \cdot 10^{-3} \text{ кН/см}^2$

Таким образом

$$p_{n,Ed} = (0,038 - 0,047) \cdot 10^{-3} \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} > p_{n,Rd} = 0,034 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}$$

Устойчивость 5-го и остальных вышележащих поясов пустого резервуара при давлении ветра не обеспечена.

Для обеспечения устойчивости 5...9 поясов необходимо либо увеличивать толщину пояса, либо устанавливать дополнительные элементы (кольцевые ребра), обеспечивающие устойчивость стенки (либо с использованием указаний Пункта 11.3.2 СП РК EN 1993-4-2, либо с использованием иных достоверных методов расчета).

5.3 Проверка предельного состояния по усталости выполнять не требуется, поскольку количество циклов налива резервуара $N_f < 10\,000$ (см. Пункт 4.1.4.3 СН РК EN 1993-4-2).

5.4 Проверка предельного состояния по малоцикловой усталости не требуется при редких циклах налива (см. Пункт 4.1.4.1 СН РК EN 1993-4-2).

5.4 Опоры и отверстия

5.4.1 Оболочка с опиранием на юбку

5.4.1.1 В случае опирания оболочки на юбку проектирование такой конструкции выполняется согласно принципам и правилам, приведенным в СП РК EN 1993-4-1 и НТП РК EN 1993-4-1.

ПРИМЕЧАНИЕ Под термином «опирание на юбку» подразумевается опирание оболочки по всему контуру на вертикальную опору, повторяющую контуры оболочки (см. Рисунок 5.6 СП РК EN 1993-4-1); характеристики юбки должны отвечать требованиям Пункта 5.4.2 СП РК EN 1993-4-1.

5.4.2 Цилиндрическая оболочка с опиранием на колонны, частично продолженными на стенку

НТП РК 03-04-2.1-2012

5.4.2.1 В случае указанного выше типа опирания цилиндрической оболочки на колонны при проектировании необходимо руководствоваться указаниями СП РК EN 1993-4-1 и НТП СП РК EN 1993-4-1.

5.4.3 Цилиндрическая оболочка с опиранием на отдельно расположенные опоры

5.4.3.1 В случае опирания цилиндрической оболочки на отдельно расположенные опоры (в т.ч. в случае дискретного закрепления цилиндрической оболочки к основанию) при проектировании необходимо руководствоваться соответствующими указаниями СП РК EN 1993-4-1 и НТП СП РК EN 1993-4-1.

5.4.4 Резервуар с опиранием на отдельно стоящие колонны, расположенные под воронкой

5.4.4.1 В случае опирания резервуара на отдельно стоящие колонны, расположенные под воронкой, при проектировании необходимо руководствоваться указаниями СП РК EN 1993-4-1 и НТП СП РК EN 1993-4-1.

5.4.5 Локальная передача нагрузки на цилиндрические стенки

5.4.5.1 Локальные опоры под цилиндрической стенкой

5.4.5.1.1 Локальные опоры под цилиндрической стенкой должны удовлетворять условиям СП РК EN 1993-4-1.

5.4.6.2 Локальные ребра для передачи усилий на цилиндрические стенки

5.4.6.2.1 Локальные ребра для передачи усилий на цилиндрические стенки должны удовлетворять требованиям СП РК EN 1993-4-1.

5.4.6 Отверстия в стенках резервуара

5.4.6.1 Общие положения

5.4.6.1.1 В случае, если наличие отверстия в цилиндрической стенке снижает ее несущую способность или устойчивость (общую или местную), оно должно быть усилено.

5.4.6.1.2 Такого усиления можно достичь за счет:

- увеличения толщины стенки;
- установкой усиливающей накладки;
- учетом эффекта присутствия патрубка.

ПРИМЕЧАНИЕ Необходимо учитывать, что при проверке прочности (предельное состояние пластического разрушения LS1) в основном проверяются участки (области) с высоким уровнем внешних нагрузок (для резервуаров это нижние пояса стенки, на которые действует наибольшая величина гидростатического давления), а проверка устойчивости в основном проводится для

участков с небольшой толщиной вследствие небольших значений нагрузок, действующих на эти участки (для резервуаров это верхние пояса стенки, толщина которых и определяется в основном расчетом на устойчивость).

5.4.6.2 Патрубки небольшого размера

5.4.6.2.1 Патрубки с внешним диаметром менее чем 80 мм классифицируются как патрубки небольшого размера.

5.4.6.2.2 При врезке патрубков небольшого размера усиление места врезки можно не проводить, при условии, что толщина стенки возле патрубка не менее той, которая указана в Таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Минимально допустимая толщина стенки резервуара для устройства неусиленных отверстий

Внешний диаметр d_n люка или патрубка (мм)	Минимальная номинальная толщина $t_{ref,n}$ (мм)	
	Углеродистая сталь	Аустенитная сталь и аустенитно-ферритная нержавеющая сталь
$d_n \leq 50$	5,0	3,5
$50 < d_n \leq 75$	5,5	5,0
$75 < d_n \leq 80$	7,5	6,0

5.4.6.3 Проектирование люков и патрубков больших размеров с учетом предельно допустимого развития пластических деформаций LS1

5.4.6.3.1 Люки и патрубки с внешним диаметром более 80 мм классифицируются как большого размера.

5.4.6.3.2 Усиление может быть выполнено либо увеличением площади сечения согласно (3) и (4), либо методом, описанным в (5) и (6).

5.4.6.3.3 Необходимая дополнительная площадь поперечного сечения для усиления отверстия ΔA рассчитывается по вертикальному сечению по стенке, проходящему через центр отверстия:

$$\Delta A = 0.75 \cdot d \cdot t_{ref} \quad (5.1)$$

где d – это диаметр вырезаемого отверстия;

t_{ref} – проектная толщина стенки без отверстия, определенная из условий предельного пластического состояния LS1.

5.4.6.3.4 Усиление площади ΔA может быть обеспечено одним или любой комбинацией следующих трех методов:

а) учет влияния непосредственно патрубка или люка. При определении площади усиления ΔA учитывается часть патрубка или люка, находящаяся на расстоянии от

поверхности оболочки не более четырех толщин патрубка (люка), при условии, что в пределах данного рассматриваемого участка не происходит изменение толщины люка или патрубка;

б) применением либо утолщенной вставки в пояс стенки резервуара, либо установкой усиливающей пластины диаметром $1.5d < d_n \leq 2d$, где d_n – внешний диаметр люка или патрубка. В качестве усиливающего элемента можно применять как круглые, так и прямоугольные пластины при условии соблюдения приведенных размеров области усиления;

в) использование более толстого элемента в качестве пояса резервуара. Расстояние от края примененного утолщенного элемента пояса до отверстия должно соответствовать требованиям, приведенным в Пункте (б).

5.4.6.3.5 Подкрепление ослабленного отверстием сечения стенки может выполняться при помощи патрубка, который должен выступать по обе стороны стенки на величину не менее чем $1.17\sqrt{r_m t_{ref,n}}$. В этом случае учитывать усиливающий эффект от патрубка можно, только если патрубок находится на расстоянии не менее 100 мм от дна резервуара (или опорного кольца).

5.4.6.3.6 Толщина корпуса патрубка должна выбираться такой, чтобы коэффициент концентрации напряжений f не превышал 2,0. Коэффициент концентрации напряжений f должен быть получен из Рисунка 5.1 с использованием коэффициента замены y . Коэффициент замены y должен быть получен из уравнения:

$$y = 1.56 \frac{t_n}{t} \sqrt{\frac{t_n}{r_m}} + \left(\frac{t_n}{2r_m} \right) \quad (5.2)$$

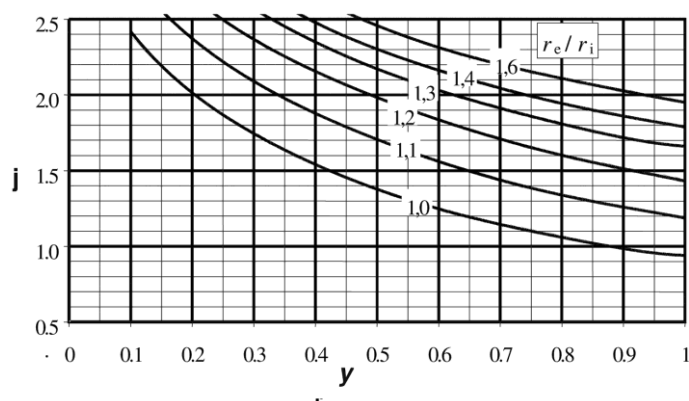
где t – это толщина стенки;

t_n – это толщина корпуса патрубка;

r_m – средний радиус патрубка (радиус срединной поверхности патрубка);

r_e – внешний радиус патрубка;

r_i – внутренний радиус патрубка.



j – коэффициент концентрации напряжений; y – коэффициент замены

Рисунок 5.1 – Коэффициент концентрации напряжений для усиливающих патрубков цилиндрической формы

5.4.6.4 Расчет и проектирование по состоянию LS3 с учетом отверстий в стенке

5.4.6.4.1 При расчете на устойчивость наличием отверстия можно пренебречь, если параметр отверстия $\eta < \eta_{\max} = 0.6$. Параметр η определяется по формуле:

$$\eta = \frac{r_0}{\sqrt{rt}} \quad (5.3)$$

где r – радиус цилиндрической оболочки, измеренный по центру отверстия;

t – толщина неподкрепленной (в частности ребрами жесткости) стенки резервуара в месте отверстия;

r_0 – радиус отверстия.

5.4.6.4.2 При наличии прямоугольного отверстия необходимость его учета при расчете устойчивости стенки также определяется по Формуле 5.3, используя значение эквивалентного радиуса r_0 , который определяется по Формуле 5.4:

$$r_0 = \frac{a + b}{4} \quad (5.4)$$

где a и b – соответственно горизонтальный и вертикальный размеры прямоугольного отверстия.

5.4.6.4.3 В случае, когда (а) радиус отверстия r_0 составляет менее одной трети от радиуса r цилиндрической оболочки и (б) площадь поперечного сечения отверстия в вертикальном сечении меньше площади поперечного сечения усиления ΔA , можно не учитывать влияние отверстия при расчете оболочки на устойчивость. Усиление может быть выполнено либо с учетом рекомендаций Пунктов 5.4.6.3 и 5.4.6.4 (учет самих патрубков, установка утолщенных вставок, дополнительных усиливающих накладок, увеличение толщины листов пояса), либо путем установки ребер жесткости в меридиональном направлении.

5.4.6.4.4 При использовании ребер жесткости, установленных в меридиональном направлении, поперечное сечение ребер необходимо уменьшать к их концам во избежание возможной локальной потери устойчивости оболочки из-за концентрации напряжений у краев ребер жесткости.

ПРИМЕР 2 Усиление проемов и отверстий в стенке резервуара

1 Исходные данные

В примере принят наземный вертикальный цилиндрический резервуар с стационарной крышей номинальным объемом 1000 м³. Схема резервуара – см. Рисунок 1.

Для данного резервуара согласно указаниям Пункта 5.4.6 СП РК EN 1993-4-2 выполним оценку необходимости усиления отверстий в стенке резервуара. Схема развертки стенки и расположения отверстий в листах стенки приведены на Рисунках 2, 3. Толщина патрубков принята равной $t_{\text{п}} = 4$ мм. Толщина люка принята равной $t_{\text{люка}} = 8$ мм.

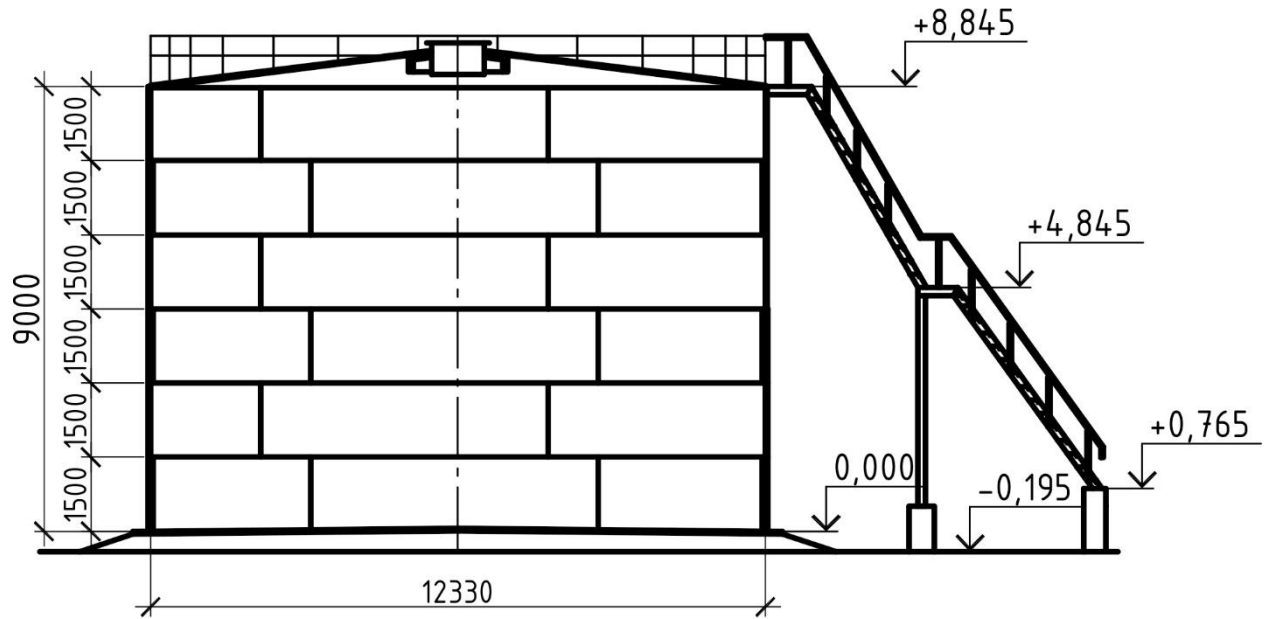


Рисунок 1 – Схема резервуара

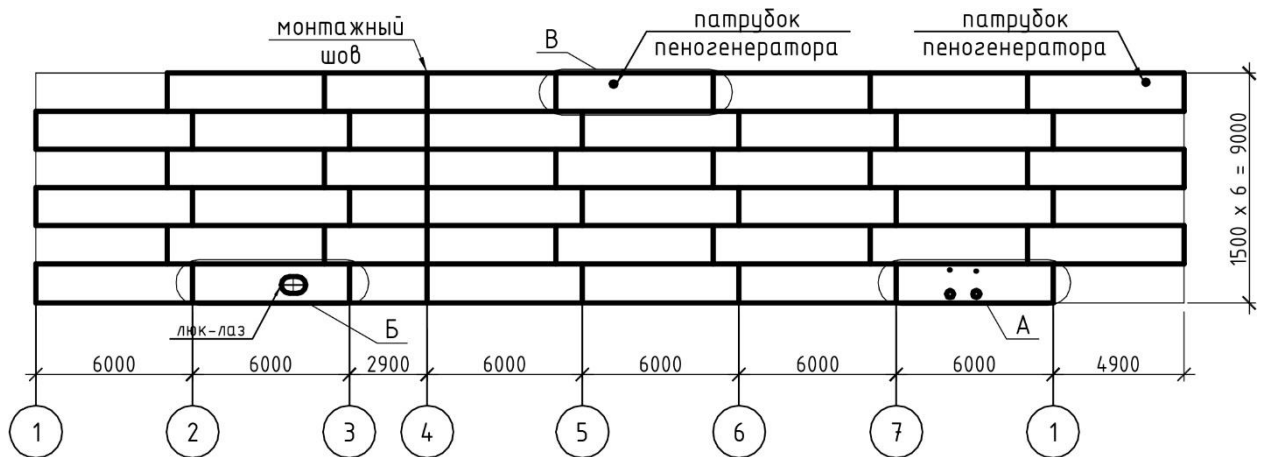
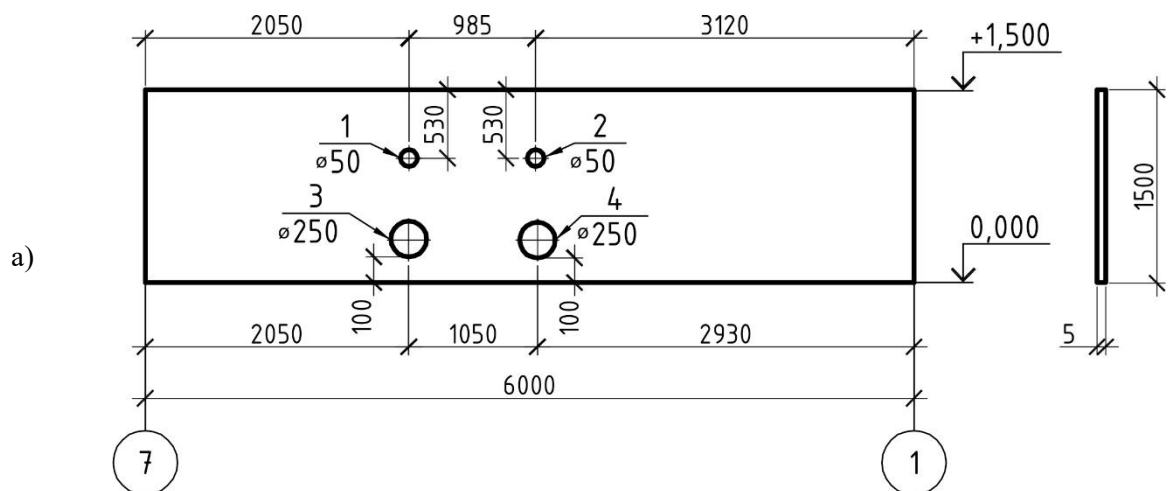


Рисунок 2 – Развертка стенки резервуара



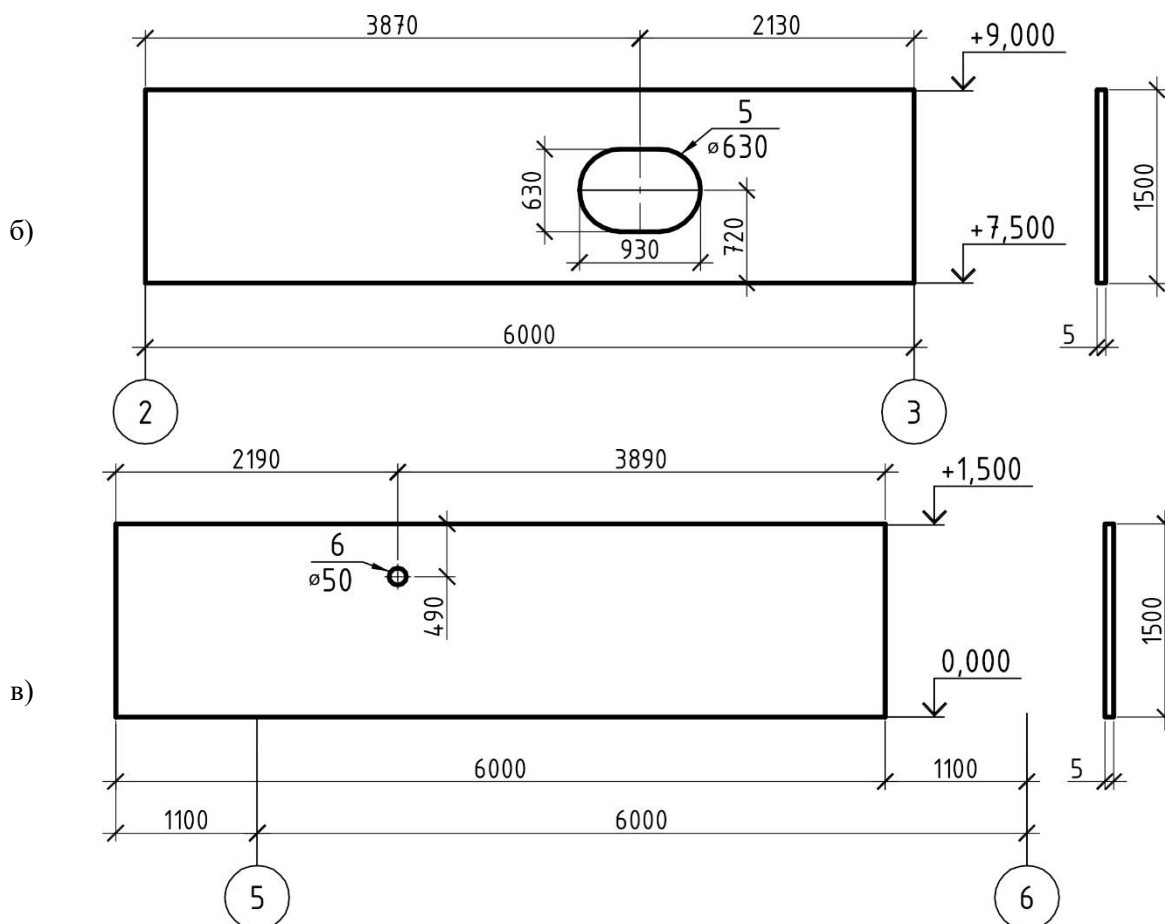


**Рисунок 3 – Расположение и нумерация отверстий в листах стенки резервуара:
а – узел А (Рисунок 2); б – узел Б (Рисунок 2); в – узел В (Рисунок 2)**

2 Порядок оценки необходимости и проектирования усиления отверстий и проемов в стенке резервуара (согласно СП РК EN 1993-4-2):

2.1 Оценка размеров проемов и отверстий (см. Пункт 5.4.6.2).

2.2 Проверка необходимости усиления отверстий из условия прочности (см. Пункт 5.4.6.3).

2.2.2 Усиление отверстий увеличением площади сечения (см. Пункт 5.4.6.3.3...5.4.6.3.4).

2.2.2.1 Учет возможности косвенного «усиления» за счет патрубка (см. Пункт 5.4.6.3.4 а).

2.2.2.2 Установка усиливающей пластины (накладки) (см. Пункт 5.4.6.3.4 б).

2.2.2.3 Оценка необходимости увеличения толщины пояса резервуара (см. Пункт 5.4.6.3.4 в).

2.2.3 Усиление отверстий при помощи патрубка (см. Пункт 5.4.6.3.5...5.4.6.3.6).

2.2.3.1 Исходя из необходимой площади усиления ΔA (см. Пункт 5.4.6.3.3) определяется необходимая толщина патрубка t_n из выражения:

$$\Delta A = 2 \cdot t_n \cdot (8t_n + t_{ct})$$

где ΔA – необходимая площадь усиления, определенная по Формуле 5.1 СП РК EN 1993-4-2;

t_n – необходимая толщина патрубка.

2.2.3.2 Проверка условий:

а) выступы патрубка по обе стороны стенки составляют не менее $1.17\sqrt{r_m t_{ref,n}}$ (согласно Пункту 5.4.6.3.5);

б) коэффициент концентрации напряжений $f \leq 2,0$ (согласно Пункту 5.4.6.3.6).

Если оба условия выполняются, то считается, что расчет окончен. Если не выполняется хотя бы одно условие, то необходимо определить другое значение толщины патрубка t_n , для которого заново проверить выполнение двух вышеуказанных условий.

2.2 Проверка (оценка) необходимости усиления отверстий из условия устойчивости (см.

Пункт 5.4.6.3):

а) проверка условий 5.3, 5.4 (см. Пункт 5.4.6.4.1...5.4.6.4.2);

б) проверка по Пункту 5.4.6.4.3.

3 Оценка размеров проемов и отверстий (Пункт 5.4.6.2).

Отверстие №1

$d_{n1} = 50 \text{ мм} < 80 \text{ мм}$ отверстие классифицируются как отверстие небольшого размера.

Согласно Таблице 5.1 усиление не требуется, т.к. $t_{ст} = 5 \text{ мм} \leq t_{табл.5.1.} = 5 \text{ мм}$ при $d_n = 50 \text{ мм}$.

Отверстие №2

$d_{n2} = 50 \text{ мм} < 80 \text{ мм}$ отверстие классифицируются как отверстие небольшого размера.

Согласно Таблице 5.1 усиление не требуется, т.к. $t_{ст} = 5 \text{ мм} \leq t_{табл.5.1.} = 5 \text{ мм}$ при $d_n = 50 \text{ мм}$.

Отверстие №3

$d_{n3} = 250 \text{ мм} > 80 \text{ мм}$ отверстие классифицируются как отверстие большого размера и требуется усиление отверстия согласно Пункту 5.4.6.3.

Отверстие №4

$d_{n4} = 250 \text{ мм} > 80 \text{ мм}$ отверстие классифицируются как отверстие большого размера и требуется усиление отверстия согласно Пункту 5.4.6.3.

Отверстие №5

Т.к. отверстие прямоугольное, то используем значение эквивалентного диаметра (Формула 5.4):

$$d_{0,n5} = \frac{a + b}{2} = \frac{630 + 930}{4} = 390 \text{ мм}$$

$d_{0,n5} = 390 \text{ мм} > 80 \text{ мм}$ отверстие классифицируются как отверстие большого размера и требуется усиление отверстия согласно Пункту 5.4.6.3.

Отверстие №6

$d_{n6} = 50 \text{ мм} < 80 \text{ мм}$ отверстие классифицируются как отверстие небольшого размера.

Согласно Таблице 5.1 усиление не требуется, т.к. $t_{ст} = 5 \text{ мм} \leq t_{табл.5.1.} = 5 \text{ мм}$ при $d_n = 50 \text{ мм}$.

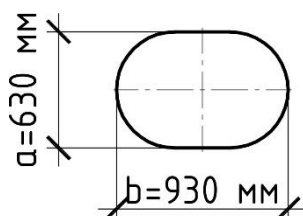


Рисунок 4 – К оценке размера прямоугольного отверстия

4 Проверка необходимости усиления отверстий из условия прочности.

4.1 Усиление отверстий увеличением площади сечения (Пункт 5.4.6.3.3...5.4.6.3.4)

4.1.1 Определение дополнительной площади усиления

Определяем необходимую дополнительную площадь поперечного сечения для усиления отверстия ΔA по Формуле 5.1:

$$\Delta A = 0,75 \cdot d \cdot t_{ref}$$

где d – диаметр вырезаемого отверстия;

t_{ref} – проектная толщина стенки без отверстия, определенная из условий предельного пластического состояния LS1.

Отверстие №3

$$\Delta A_3 = 0,75 \cdot d_3 \cdot t_{ref} = 0,75 \cdot 25 \cdot 0,5 = 9,375 \text{ см}^2$$

Отверстие №4

$$\Delta A_4 = 0,75 \cdot d_4 \cdot t_{\text{ref}} = 0,75 \cdot 25 \cdot 0,5 = 9,375 \text{ см}^2$$

Отверстие №5

$$\Delta A_5 = 0,75 \cdot d_5 \cdot t_{\text{ref}} = 0,75 \cdot 39 \cdot 0,5 = 14,625 \text{ см}^2$$

4.1.2 Учет возможного косвенного «усиления» за счет патрубка (Пункт 5.4.6.3.4 а)

Одним из вариантов расчета стенки на влияние отверстия под патрубок является учет эффекта косвенного «усиления» стенки непосредственно самим патрубком согласно Пункту 5.4.6.3.4 а. При определении площади усиления ΔA учитывается часть патрубка или люка, находящаяся на расстоянии от поверхности оболочки не более четырех толщин патрубка (люка), при условии, что в пределах данного рассматриваемого участка не происходит изменение толщины люка или патрубка. Расчет заключается в определении площади продольного сечения патрубка на длине $l = 4t_n + t_{\text{ref}} + 4t_n$ (см. Рисунок 5). В случае, если площадь сечения патрубка на этой длине $\Delta A'$ больше необходимого значения ΔA , определенного по Пункту 4.1.1, то вариант косвенного «усиления» считается состоявшимся.

Отверстие №3

Проверка условия $\Delta A'_3 \geq \Delta A_3$

$$\Delta A'_3 = 2 \cdot (8 \cdot t_{n3} + t_{\text{ст}}) \cdot t_{n3} = 2 \cdot (8 \cdot 0,4 + 0,5) \cdot 0,4 = 2,96 \text{ см}^2$$

$$2,96 \text{ см}^2 < 9,375 \text{ см}^2 \text{ Условие не выполняется}$$

Необходимо увеличить толщину патрубка t_{n3} (см. Пункты 5.4.6.3.5–5.4.6.3.6) или установить усиливающую накладку (см. Пункт 5.4.6.3.4 б).

Отверстие №4

Проверка условия $\Delta A'_4 \geq \Delta A_4$

$$\Delta A'_4 = 2 \cdot (8 \cdot t_{n4} + t_{\text{ст}}) \cdot t_{n4} = 2 \cdot (8 \cdot 0,4 + 0,5) \cdot 0,4 = 2,96 \text{ см}^2$$

$$2,96 \text{ см}^2 < 9,375 \text{ см}^2 \text{ Условие не выполняется}$$

Необходимо увеличить толщину патрубка t_{n4} (см. Пункты 5.4.6.3.5–5.4.6.3.6) или установить усиливающую накладку (см. Пункт 5.4.6.3.4 б).

Отверстие №5

Проверка условия $\Delta A'_5 \geq \Delta A_5$

$$\Delta A'_5 = 2 \cdot (8 \cdot t_{\text{люка}} + t_{\text{ст}}) \cdot t_{n5} = 2 \cdot (8 \cdot 0,8 + 0,5) \cdot 0,8 = 11,04 \text{ см}^2$$

$$11,04 \text{ см}^2 < 14,625 \text{ см}^2 \text{ Условие не выполняется}$$

Необходимо увеличить толщину люка $t_{\text{люка}}$ (см. Пункты 5.4.6.3.5–5.4.6.3.6) или установить усиливающую накладку (см. Пункт 5.4.6.3.4 б).

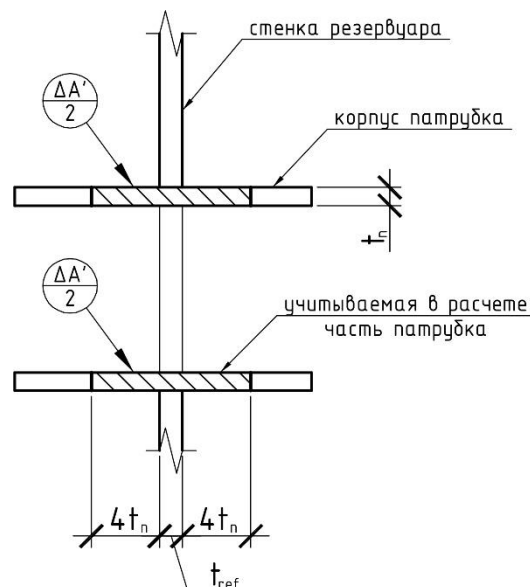


Рисунок 5 – К расчету варианта косвенного «усиления» стенки патрубком

4.1.3 Установка усиливающей накладки (Пункт 5.4.6.3.4 б)

Согласно Пункту 5.4.6.3.4 б для усиления стенки резервуара в месте отверстия может использоваться усиливающая накладка диаметром $1,5d_{\text{отв}} < d_{\text{накл}} \leq 2d_{\text{отв}}$. В качестве усиливающей накладки можно применять как круглые, так и прямоугольные пластины. По аналогии с Пунктом 4.1.2 определяется площадь поперечного сечения усиливающей накладки в сечении, проходящем через ось отверстия (см. Рисунок 6). В случае, если площадь сечения усиливающей накладки $\Delta A'$ больше необходимого значения ΔA , определенного по Пункту 4.1.1, то можно использовать данный вариант усиления.

Расчет усиливающей накладки заключается в определении ее необходимой толщины по Формуле:

– при внешнем диаметре усиливающей накладки $1,5d$:

$$t_{\text{накл}(1,5d)} = \frac{\Delta A}{1,5d - d}$$

– при внешнем диаметре усиливающей накладки $2d$:

$$t_{\text{накл}(2d)} = \frac{\Delta A}{2d - d}$$

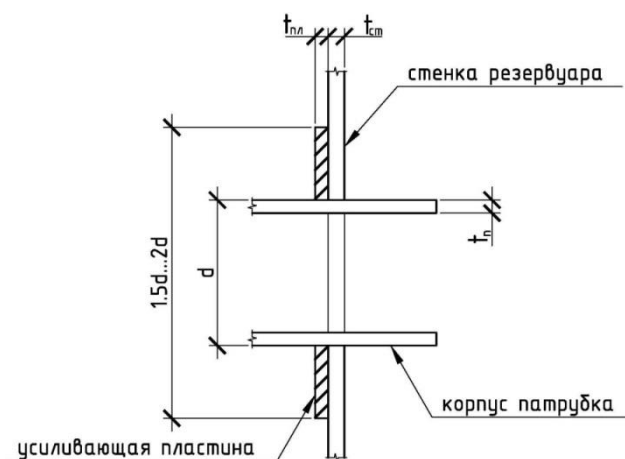


Рисунок 6 – К расчету усиливающей накладки

Отверстие №3

$$t_{\text{накл}3(1,5d)} = \frac{\Delta A_3}{1,5d_3 - d_3} = \frac{9,375}{1,5 \cdot 25 - 25} = 0,75 \text{ см}$$

$$t_{\text{накл}3(2d)} = \frac{\Delta A_3}{2d_3 - d_3} = \frac{9,375}{2 \cdot 25 - 25} = 0,375 \text{ см}$$

Окончательный выбор толщины накладки выполняется с учетом конструктивных и технологических ограничений для конкретного резервуара.

В примере принимаем $t_{\text{накл}3} = 0,4 \text{ см}$ при внешнем диаметре накладки $2d$.

Отверстие №4

$$t_{\text{накл}4(1,5d)} = \frac{\Delta A_4}{1,5d_4 - d_4} = \frac{9,375}{1,5 \cdot 25 - 25} = 0,75 \text{ см}$$

$$t_{\text{накл}4(2d)} = \frac{\Delta A_4}{2d_4 - d_4} = \frac{9,375}{2 \cdot 25 - 25} = 0,375 \text{ см}$$

Принимаем $t_{\text{накл}4} = 0,4 \text{ см}$ при внешнем диаметре накладки $2d$.

Отверстие №5

$$t_{\text{накл5}(1,5d)} = \frac{\Delta A_5}{1,5d_5 - d_5} = \frac{14,625}{1,5 \cdot 39 - 39} = 0,75 \text{ см}$$

$$t_{\text{накл5}(2d)} = \frac{\Delta A_5}{2d_5 - d_5} = \frac{14,625}{2 \cdot 39 - 39} = 0,375 \text{ см}$$

Принимаем $t_{\text{накл5}} = 0,4 \text{ см}$ при внешнем диаметре накладки $2d$.

4.1.4 Усиление путем увеличения толщины пояса резервуара (Пункт 5.4.6.3.4 в)

При этом методе вместо минимального значения толщины пояса резервуара t_{ref} используется более толстый лист в качестве пояса резервуара. Новая (увеличенная) толщина пояса резервуара должна удовлетворять требованиям Пункта 5.4.6.3 в области обеспечения несущей способности по состоянию LS1.

4.2 Усиление отверстий при помощи патрубка (Пункты 5.4.6.3.5...5.4.6.3.6)

Согласно Пункту 5.4.6.3.2 подкрепление ослабленного отверстием сечения стенки может выполняться при помощи патрубка, который должен выступать по обе стороны стенки на величину l_n , но не менее чем $1,17\sqrt{r_m t_{\text{ref},n}}$. В этом случае учитывать усиливающий эффект от патрубка можно, только если патрубок находится на расстоянии не менее 100 мм от конструкции опорного кольца (см. Рисунок 7).

Учет влияния патрубка осуществляется аналогично косвенному «усилению» (см. Пункт 4.1.2), но варьируемой величиной является толщина патрубка, подбирая которую, мы обеспечиваем требуемую площадь продольного сечения патрубка $\Delta A'$, соответствующую требуемой площади дополнительного усиления ΔA .

Необходимая толщина патрубка t_n подбирается из условия (см. Пункт 2.2.3.1 и Рисунок 7):

$$\Delta A = 2 \cdot t_n \cdot (8t_n + t_{\text{ст}})$$

где ΔA – необходимая площадь усиления, определенная по Формуле 5.1 СП РК EN 1993-4-2;

t_n – необходимая толщина патрубка.

Расчет усиления при помощи патрубка в данном примере выполнен для отверстий №№3...5 как дополнительный вариант усиления относительно усиливающей накладки (см. Пункт 4.1.3). Также в данном примере принято, что длина патрубка (при любой его толщине) больше чем $1,17 \cdot \sqrt{r_{m3} \cdot t_{\text{ref},n}}$ (согласно Пункту 5.4.6.3.5). Начальная толщина патрубка – см. Пункт 1.

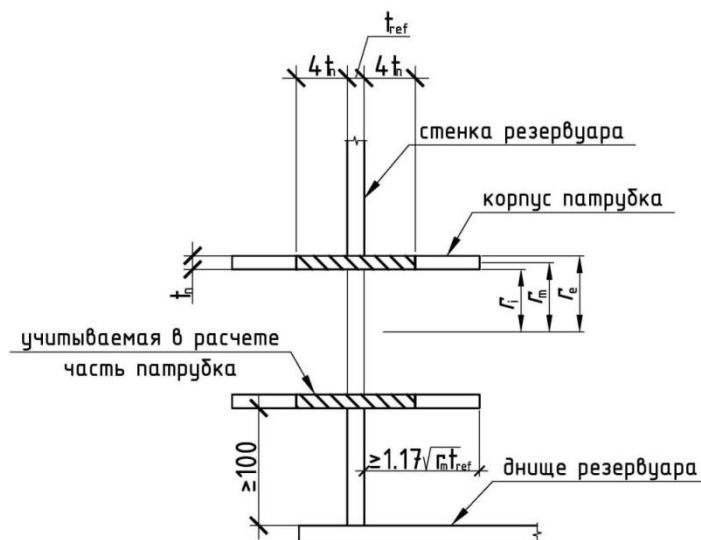


Рисунок 7 – К расчету усиления отверстий при помощи патрубка

Отверстия №3, 4

Проверка условия $\Delta A'_3 \geq \Delta A_3$

$$\Delta A'_3 = 2 \cdot (8 \cdot t_{n3} + t_{ст}) \cdot t_{n3} = 2 \cdot (8 \cdot 0,4 + 0,5) \cdot 0,4 = 2,96 \text{ см}^2$$

$$2,96 \text{ см}^2 < 9,375 \text{ см}^2 \quad \text{Условие не выполняется}$$

Определяем необходимую толщину патрубка из выражения

$$\Delta A = 2 \cdot t_{п} \cdot (8t_{п} + t_{ст})$$

Получаем $t_{п} = 0,735$ см. Принимаем $t_{п} = 0,8$ см.

Проверка условия $\Delta A'_3 \geq \Delta A_3$

$$\Delta A'_3 = 2 \cdot (8 \cdot t_{n3} + t_{ст}) \cdot t_{n3} = 2 \cdot (8 \cdot 0,8 + 0,5) \cdot 0,8 = 11,04 \text{ см}^2$$

$$11,04 \text{ см}^2 > 9,375 \text{ см}^2 \quad \text{Условие выполняется}$$

Определяем коэффициент замены u по Формуле 5.2 СП РК EN 1993-4-2:

$$u_3 = 1,56 \cdot \frac{t_{n3}}{t} \cdot \sqrt{\frac{t_{n3}}{r_{m3}}} + \left(\frac{t_{n3}}{2 \cdot r_{m3}} \right) = 1,56 \cdot \frac{0,8}{0,5} \cdot \sqrt{\frac{0,8}{12,1}} + \left(\frac{0,8}{2 \cdot 12,1} \right) = 0,6749$$

где t – толщина стенки; $t = 0,5$ см;

t_{n3} – толщина корпуса патрубка; $t_{n3} = 0,8$ см;

r_{m3} – средний радиус патрубка (радиус срединной поверхности патрубка); $r_{m3} = 12,1$ см.

Определяем коэффициент концентрации напряжений f_3 из Рисунка 5.1 СП РК EN 1993-4-2 с использованием коэффициента замены u_3 :

- внешний радиус патрубка $r_e = 12,5$ см;
- внутренний радиус патрубка $r_i = 12,5 - 0,8 = 11,7$ см;
- отношение

$$r_e / r_i = 12,5 / 11,7 = 1,0684$$

$$f_3 = 1,32 < 2,0 \quad \text{Условие выполняется}$$

Принимаем толщину корпуса патрубка $t_{n3} = 0,8$ см.

Отверстие №5

Проверка условия $\Delta A'_5 \geq \Delta A_5$

$$\Delta A'_5 = 2 \cdot (8 \cdot t_{люка} + t_{ст}) \cdot t_{люка} = 2 \cdot (8 \cdot 0,8 + 0,5) \cdot 0,8 = 11,04 \text{ см}^2$$

$$11,04 \text{ см}^2 < 14,625 \text{ см}^2 \quad \text{Условие не выполняется}$$

Определяем необходимую толщину люка из выражения

$$\Delta A = 2 \cdot t_{люка} \cdot (8t_{люка} + t_{ст})$$

Получаем $t_{люка} = 0,925$ см. Принимаем $t_{п} = 1,0$ см.

Проверка условия $\Delta A'_5 \geq \Delta A_5$

$$\Delta A'_5 = 2 \cdot (8 \cdot t_{люка} + t_{ст}) \cdot t_{люка} = 2 \cdot (8 \cdot 1,0 + 0,5) \cdot 1,0 = 17 \text{ см}^2$$

$$17 \text{ см}^2 > 9,375 \text{ см}^2 \quad \text{Условие выполняется}$$

Определяем коэффициент замены u по Формуле 5.2 СП РК EN 1993-4-2:

$$u_3 = 1,56 \cdot \frac{t_{люка}}{t} \cdot \sqrt{\frac{t_{люка}}{r_{m5}}} + \left(\frac{t_{люка}}{2 \cdot r_{m5}} \right) = 1,56 \cdot \frac{1,0}{0,5} \cdot \sqrt{\frac{1,0}{31}} + \left(\frac{1,0}{2 \cdot 31} \right) = 0,5765$$

где t – толщина стенки; $t = 0,5$ см;

$t_{люка}$ – толщина корпуса люка; $t_{люка} = 1,0$ см;

r_{m5} – средний радиус люка (радиус срединной поверхности люка)

$$r_{m5} = \frac{63}{2} - 0,5 = 31 \text{ см}$$

Определяем коэффициент концентрации напряжений f_3 из Рисунка 5.1 СП РК EN 1993-4-2 с использованием коэффициента замены u_3 :

- внешний радиус люка $r_e = 63/2 = 31,5$ см;
- внутренний радиус люка $r_i = 31,5 - 1,0 = 30,5$ см;

– отношение

$$r_e/r_i = 31,5/30,5 = 1,033$$

$$f_3 = 1,38 < 2,0 \text{ Условие выполняется}$$

Принимаем толщину корпуса люка $t_{\text{люка}} = 1,0$ см.

5 Проверка необходимости усиления отверстий из условия устойчивости (Пункт 5.4.6.4)

Согласно Пункту 5.4.6.4.1 при расчете на устойчивость наличием отверстия можно пренебречь, если параметр отверстия $\eta < \eta_{\max} = 0,6$. Параметр η определяется по Формуле 5.3 (EN 1993-4-2:2007):

$$\eta = \frac{r_0}{\sqrt{rt}}$$

где r – радиус цилиндрической оболочки, измеренный по центру отверстия (радиус срединной поверхности пояса резервуара);

t – толщина неподкрепленной (в частности ребрами жесткости) стенки резервуара в месте отверстия;

r_0 – радиус отверстия.

Отверстие №1

$$\eta_1 = \frac{r_{0,1}}{\sqrt{rt}} = \frac{5}{\sqrt{\left(\frac{1233}{2} + 0,3\right) \cdot 0,5}} = 0,285 < 0,6 \text{ Условие выполняется.}$$

Отверстие №2

$$\eta_2 = \frac{r_{0,2}}{\sqrt{rt}} = \frac{5}{\sqrt{\left(\frac{1233}{2} + 0,3\right) \cdot 0,5}} = 0,285 < 0,6 \text{ Условие выполняется.}$$

Отверстие №3

$$\eta_3 = \frac{r_{0,3}}{\sqrt{rt}} = \frac{25}{\sqrt{\left(\frac{1233}{2} + 0,3\right) \cdot 0,5}} = 1,424 > 0,6 \text{ Условие не выполняется.}$$

Отверстие №4

$$\eta_4 = \frac{r_{0,4}}{\sqrt{rt}} = \frac{25}{\sqrt{\left(\frac{1233}{2} + 0,3\right) \cdot 0,5}} = 1,424 > 0,6 \text{ Условие не выполняется.}$$

Отверстие №5

Значение эквивалентного радиуса r_0 , который определяется по Формуле 5.4 СП РК EN 1993-4-2:

$$r_0 = \frac{a+b}{4} = \frac{630+930}{4} = 390 \text{ мм}$$

$$\eta_5 = \frac{r_{0,5}}{\sqrt{rt}} = \frac{39}{\sqrt{\left(\frac{1233}{2} + 0,3\right) \cdot 0,5}} = 2,221 > 0,6 \text{ Условие не выполняется.}$$

Отверстие №6

$$\eta_6 = \frac{r_{0,6}}{\sqrt{rt}} = \frac{5}{\sqrt{\left(\frac{1233}{2} + 0,3\right) \cdot 0,5}} = 0,285 < 0,6 \text{ Условие выполняется.}$$

Таким образом, при расчете на устойчивость необходимо будет учесть отверстия №3...5.

5.4.7 Анкерное крепление резервуара

5.4.7.1 Конструктивное решение анкерного крепления должно предусматривать крепление как к элементам опорного контура (кольца), так и непосредственно к самой цилиндрической оболочке.

5.4.7.2 При проектировании необходимо принимать такие конструктивные решения, которые бы не вызывали дополнительных напряжений в оболочке из-за возможных температурных деформаций или деформаций от гидростатического воздействия.

5.4.7.3 При жестком анкерном закреплении резервуара и наличии горизонтальных нагрузок на резервуар (ветровая нагрузка, какие-либо ударные воздействия, например, от транспорта), усилия в анкерах должны рассчитываться в соответствии с теорией оболочек.

ПРИМЕЧАНИЕ Необходимо учитывать, что значения этих усилий в отдельных случаях могут быть намного выше полученных с использованием балочной теории (см. Пункт 5.4.7 СП РК EN 1993-4-1).

5.4.7.4 Проектирование и расчет цилиндрической оболочки с учетом дополнительных усилий и изгибающих моментов от анкеровки должны выполняться в соответствии с требованиями Пункта 5.4.5.

5.5 Предельные состояния по эксплуатационной пригодности

5.5.1 Основные положения

5.5.1.1 При расчете цилиндрических плоских оболочек с точки зрения эксплуатационной пригодности необходимо рассматривать (определять):

- деформации и перемещения, вызывающие затруднения нормальной эксплуатации конструкции (затруднения в осуществлении технологического процесса);
- деформации, перемещения или вибрации, которые могут вызвать повреждения несущих элементов.

5.5.1.2 Допустимые значения деформаций, перемещений или вибраций принимаются такими, чтобы соблюдались критерии, указанные в Пункте (1).

5.5.1.3 Конкретные предельные значения для каждой области применения должны быть согласованы между проектировщиком, заказчиком и соответствующим надзорным органом с учетом области применения и природы хранящихся жидкостей.

6 ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОНИЧЕСКИХ ВОРОНОК

6.1 Проектирование конических воронок должно выполняться согласно указаний СП РК EN 1993-4-1.

7 ПРОЕКТИРОВАНИЕ КРУГЛЫХ КРЫШ

7.1 Основные положения

7.1.1 Общие правила

7.1.1.1 Размеры крыши стальных резервуаров следует назначать такими, чтобы выполнялись основные расчетные требования предельных состояний по несущей способности, как это указано в Разделе 2 СП РК EN 1993-4-2.

7.1.1.2 Оценка надежности сферической или конической оболочки, используемой в качестве несущей конструкции крыши, должна выполняться с использованием требований стандарта СП РК EN 1993-1-6.

7.1.1.3 Оценка надежности каркасных несущих конструкций крыши должна выполняться с использованием требований стандарта СП РК EN 1993-1-1.

7.1.2 Проектирование крыши

7.1.2.1 Крыша в целом и ее отдельные несущие элементы должны удовлетворять следующим требованиям:

- должны быть обеспечены прочность и жесткость элементов и крыши в целом при изгибе;
- должны быть обеспечена прочность и жесткость отдельных узлов и соединений;
- должна быть обеспечена прочность разрыву под действием внутреннего (избыточного) давления.

7.1.2.2 Плиты крыши должны удовлетворять условиям СП РК EN 1993-1-6, за исключением того, когда Пункты 7.3–7.5 предусматривают альтернативный подход.

7.2 Конструктивные решения крыши

7.2.1 Крыша может иметь сферическую, коническую, торосферическую или тороконическую форму. При наличии высокого внутреннего давления выше поверхности жидкости, предпочтительно должна выбираться торосферическая или тороконическая форма.

7.2.2 Приведенные в (1) различные виды крыш могут представлять собой либо безопорные конструкции (самонесущие оболочки как в Пункте 7.1.1 (2)), либо иметь несущую конструкцию в виде каркаса (см. Пункт 7.1.1 (3)).

7.2.3 Для каркасной несущей конструкции крыши (2) в качестве опорных конструкций могут быть использованы колонны.

7.2.4 Каркасная несущая конструкция крыши может располагаться как ниже ограждающих элементов крыши (внутри резервуара), так и выше ограждающих элементов крыши (снаружи резервуара).

7.2.5 По типу крепления к несущим конструкциям ограждающие (ненесущие) элементы крыши могут быть:

а) свободно лежащими, т.е. не иметь промежуточных креплений к несущим конструкциям крыши;

б) с промежуточными креплениями к несущим конструкциям крыши;

7.2.6 При необходимости устройства легкобрасываемой кровли необходимо использовать крыши типа (5а).

7.2.7 Если каркасная несущая конструкция крыши располагается выше ограждающих элементов крыши (снаружи резервуара), то необходимо использовать крыши типа (5б).

7.3 Требования к круглым крышам

7.3.1 Обшивка крыши должна удовлетворять условиям СП РК EN 1993-1-6, если только специальные условия не приведены в 7.4.

7.3.2 Каркасная несущая конструкция крыши должна удовлетворять требованиям СП РК EN 1993-1-1.

7.3.3 Торосферические и тороконические крыши должны быть спроектированы таким образом, чтобы предотвращать изгиб области пересечения граней от внутреннего давления.

7.4 Особенности проектирования различных видов крыш

7.4.1 Безопорные конструкции крыши

7.4.1.1 Безопорные крыши должны быть сварены встык или иметь конструкцию соединения внахлестку с двумя швами.

7.4.1.2 В случае нахлесточного соединения в расчетных моделях необходимо учесть снижение сопротивления стыка изгибу и пластическому разрушению из-за несоосности стыкуемых элементов.

7.4.2 Конические или куполообразные каркасные крыши

7.4.2.1 Конструкция ограждающих конструкций (обшивки)

7.4.2.1.1 Обшивка крыши может быть спроектирована с использованием теории больших деформаций.

7.4.2.1.2 При необходимости устройства легкобрасываемой кровли элементы обшивки не должны крепиться к внутренней несущей конструкции крыши.

7.4.2.2 Проектирование каркасной несущей конструкции

7.4.2.2.1 Каркасная несущая конструкция крыши должна удовлетворять требованиям СП РК EN 1993-1-1.

7.4.2.2.2 Если ограждающие конструкции крыши (обшивка) закреплена к несущим конструкциям, то в расчете может быть учтена часть этой обшивки эффективной шириной, равной $16t$. Более высокое значение эффективной ширины обшивки может быть принято на основании дополнительных расчетов.

7.4.2.2.3 Для крыш, поддерживаемых колоннами, необходимо специально рассмотреть возможность осадки фундамента.

7.4.3 Узел стенка-крыша (карнизный узел)

7.4.3.1 Соединение крыши и цилиндрической стенки (карнизный узел) должно быть спроектировано таким образом, чтобы обеспечить восприятие общей вертикальной нагрузки от крыши (вес конструкции, снег, временная нагрузка и вакуум).

7.4.3.2 Соединение крыши и цилиндра должно удовлетворять условиям СП РК EN 1993-1-6. Если условия, изложенные в 11.1 (1) выполняются, может быть применен упрощенный метод проектирования, приведенный в 11.2.5.

7.4.3.3 Для легкобрасываемой кровли площадь, на которую воздействует внутреннее давление A должна удовлетворять условию:

$$A \leq \frac{W}{2\pi \cdot \tan(\alpha f)} \quad (7.1)$$

где W – это общий вес каркаса и других конструктивных элементов крыши (но не ее обшивки), который воспринимается стенкой и крышей резервуара;

α – это угол между крышей и горизонтальной плоскостью в месте соединения крыши и цилиндра.

7.5 Предельные состояния по эксплуатационной пригодности

7.5.1 При расчете крыш резервуаров с точки зрения эксплуатационной пригодности необходимо рассматривать (определять) предельные состояния, определяемые:

- деформациями и перемещениями, вызывающими затруднения нормальной эксплуатации конструкции (затруднения в осуществлении технологического процесса);
- деформациями, перемещениями или вибрациями, которые могут вызвать повреждения несущих элементов.

7.5.2 Допустимые значения деформаций, перемещений или вибраций принимаются такими, чтобы соблюдались критерии, указанные в Пункте (1).

7.5.3 Конкретные предельные значения для каждой области применения должны быть согласованы между проектировщиком, заказчиком и соответствующим надзорным органом с учетом области применения и природы хранящихся жидкостей.

**8 ПРОЕКТИРОВАНИЕ УЗЛОВ СОПРЯЖЕНИЯ «ДНИЩЕ–СТЕНКА»
(УТОРНЫЙ УЗЕЛ) И ОПОРНЫХ КОЛЬЦЕВЫХ БАЛОК**

8.1 Проектирование уторных узлов и опорных кольцевых балок должно выполняться в соответствии с указаниями СП РК EN 1993-4-1.

9 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ И ПЛОСКИХ РЕЗЕРВУАРОВ

9.1 Основные положения

9.1.1 Прямоугольный резервуар может представлять из себя либо жесткую коробчатую конструкцию, элементы которой работают в основном на изгиб, либо тонкую мембранную конструкцию, которая включается в работу как мембрана после прохождения первоначальных достаточно больших деформаций.

9.1.2 При проектировании конструкций резервуара как изгибаемых элементов, конструктивные решения узлов должны быть приняты такими, чтобы обеспечить соответствие их работы в реальной конструкции принятым предпосылкам в расчетной модели.

9.2 Виды резервуаров

9.2.1 Нежесткие резервуары

9.2.1.1 Конструкция резервуара, состоящая из плоских стальных листов, неподкрепленных ребрами жесткости, должна рассматриваться как «нежесткий резервуар».

9.2.1.2 Если ребра жесткости установлены только вдоль узлов соединения отдельных плит, не лежащих в одной плоскости, то такая конструкция также должна рассматриваться как «нежесткий резервуар».

9.2.2 Жесткие резервуары

9.2.2.1 Конструкция резервуара, состоящая из плоских стальных листов, подкрепленных ребрами жесткости в плоскости этих листов, должна рассматриваться как «жесткий резервуар». Ребра жесткости могут быть расположены в окружном или меридиональном направлениях, а также во взаимно перпендикулярных направлениях.

9.2.3 Подвесные резервуары (tanks with ties)

9.2.3.1 Подвесные резервуары могут иметь в плане квадратную или прямоугольную форму.

ПРИМЕЧАНИЕ В данном случае имеются в виду резервуары, опорные конструкции которых работают на растяжение. Простейшим примером таких конструкций могут служить подвески. В этом случае резервуар рассматривается как подвесной с опиранием на дискретные (отдельно расположенные) опоры.

9.3 Прочность вертикальных стенок

9.3.1 Проектирование отдельных нежестких плит

9.3.1.1 Нежесткие, т.е. неподкрепленные ребрами жесткости, плиты при расчете и проектировании необходимо рассматривать как пластины (т.е. конструкции, в которых два размера гораздо больше третьего), работающие на изгиб от воздействия хранимой жидкости и избыточного давления над уровнем жидкости. Принимается, что в этом случае в таких конструкциях возникают мембранные напряжения (определяемые по безмоментной теории) и местные изгибающие моменты в местах примыкания трубопроводов или другого оборудования.

9.3.2 Проектирование отдельных жестких плит

9.3.2.1 Гофрированные листы с горизонтальным расположением гофров в общей системе координат резервуара должны рассчитываться на общий изгиб от воздействия хранимой жидкости и избыточного давления над уровнем жидкости. Аналогично Пункту 9.3.1 принимается, что в этом случае в таких конструкциях возникают мембранные напряжения (определяемые по безмоментной теории) и местные изгибающие моменты в местах примыкания трубопроводов или другого оборудования.

9.3.2.2 Эффективные (приведенные) геометрические характеристики при изгибе таких конструкций и их изгибная прочность необходимо определять в соответствии с указаниями СП РК EN 1993-1-3.

9.3.2.3 Если все элементы обшивки в местах примыкания соединены друг с другом, то характеристики конструкции при сдвиге и ее сопротивление сдвигу могут также быть определены согласно указаниями СП РК EN 1993-1-3.

ПРИМЕЧАНИЕ Могут быть случаи, когда соединение соседних элементов между собой выполняется только по вертикальным стыкам. В этом случае данная стенка не может рассматриваться как единая конструкция и не может рассчитываться согласно приведенных рекомендаций, поскольку существенно снижается жесткость конструкции и увеличиваются возникающие в конструкции напряжения. Однако, поскольку такая конструкция не будет водонепроницаема, то считается, что в резервуарах она использоваться не будет.

9.3.3 Учет общего изгиба от непосредственного воздействия хранимой жидкости и избыточного давления

9.3.3.1 Должен учитываться изгиб в горизонтальной плоскости в результате нормального давления на стенку. При этом нагрузки должны быть восприняты изгибом конструкции в одном или двух направлениях.

9.3.4 Мембранные напряжения от поперечной нагрузки

9.3.4.1 При проектировании необходимо учитывать мембранные растягивающие напряжения, которые развиваются в стенках в результате гидростатического давления, действующего по нормали к стенке.

9.3.4.2 При проектировании также необходимо принимать во внимание мембранные сжимающие напряжения, которые могут развиваться в результате воздействия ветровой нагрузки, ортогональной по отношению к рассматриваемой стенке.

9.3.5 Локальное изгибное воздействие от оборудования или труб

9.3.5.1 Необходимо избегать локального изгибающего действия от оборудования или труб настолько, насколько это возможно. Однако, если это не является возможным, необходимо проверить локальные напряжения и деформации в месте примыкания.

9.4 Предельные состояния по эксплуатационной пригодности

9.4.1 При расчете стенок прямоугольных стальных резервуаров с точки зрения эксплуатационной пригодности необходимо рассматривать (определять) предельные состояния, определяемые:

- деформациями и перемещениями, вызывающими затруднения нормальной эксплуатации конструкции (затруднения в осуществлении технологического процесса);
- деформациями, перемещениями или вибрациями, которые могут вызвать повреждения несущих элементов.

9.4.2 Допустимые значения деформаций, перемещений или вибраций принимаются такими, чтобы соблюдались критерии, указанные в Пункте 9.4.1.

9.4.3 Конкретные предельные значения для каждой области применения должны быть согласованы между проектировщиком, заказчиком и соответствующим надзорным органом с учетом области применения и природы хранящихся жидкостей.

**10 УЧЕТ ТРЕБОВАНИЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И МОНТАЖА ПРИ
ПРОЕКТИРОВАНИИ**

10.1 Резервуар должен изготавливаться и возводиться в соответствии с EN 14015 или EN 14620 и приниматься в эксплуатацию согласно EN 1090 в соответствии с фактическими обстоятельствами.

11 УПРОЩЕННЫЙ ПОДХОД К ПРОЕКТИРОВАНИЮ

11.1 Общие положения

11.1.1 Упрощенный подход к расчету резервуара, приведенный в данном разделе, может быть использован только в том случае, если удовлетворяются все нижеперечисленные условия:

- конструктивное решение резервуара соответствует приведенному на Рисунке 11.1;
- единственными внутренними воздействиями являются давление жидкости и давление газа выше поверхности жидкости;
- максимальный проектный уровень хранимой жидкости (уровень налива) не превышает уровня верха цилиндрической оболочки;
- при расчете вследствие их малого влияния можно пренебречь следующими нагрузками: температурные и сейсмические воздействия, нагрузки, вызванные неравномерной осадкой или закреплениями, аварийные нагрузки;
- толщина отдельных поясов стенки по высоте не увеличивается за исключением зоны верхнего опорного кольца;
- проектный уровень окружных напряжений в стенке резервуара не превышает 435 Н/мм^2 ;
- для сферической крыши радиус искривления находится в пределах от 0,8 до 1,5 диаметров резервуара;
- для конической самонесущей кровли с опиранием только на стенку резервуара (без использования дополнительных промежуточных несущих конструкций) значение уклона кровли должно находиться в пределах от 1/5 до 1/3;
- проектное значение уклона днища резервуара не более 1:100;
- днище резервуара лежит на сплошном основании или опирается на близко расположенные параллельные опоры (балки);
- характеристическое значение внутреннего давления не ниже – 8,5 мбар и не выше 60 мбар;
- проектное количество циклов нагрузки-разгрузки не вызывает усталостного разрушения.

11.1.2 Проектное значение предела текучести стали, используемое в данном разделе, определяется по Формуле:

$$f_{y,d} = f_y / \gamma_{M0} \quad (11.1)$$

где f_y – характеристическое значение предела текучести стали;

γ_{M0} – принимается с соответствии с Пунктом 2.9.2.2 СП РК EN 1993-4-2.

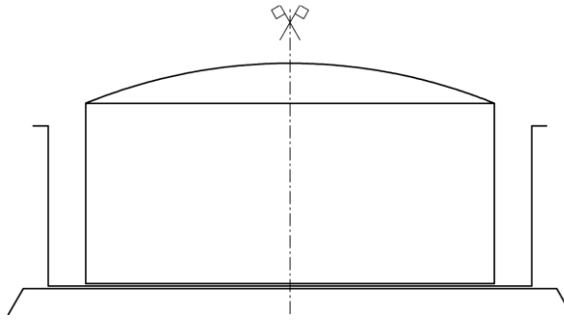


Рисунок 11.1 – Конструкция резервуара с защитной стенкой (catch basin), в случае использования упрощенного подхода к проектированию

11.2 Конструкция стационарной крыши

11.2.1 Неподкрепленная оболочка со стыковыми или нахлесточными (с двух сторон) сварными швами

11.2.1.1 Если в Пунктах (3) и (5) используется максимальное значение распределенной нагрузки, то неоднородность (неравномерность) распределения этой нагрузки можно не учитывать.

11.2.1.2 При наличии сосредоточенной нагрузки расчет необходимо выполнять в соответствие с указаниями Раздела 7 данного Пособия и СП РК EN 1993-4-2.

11.2.1.3 Прочность крыши от действия внутреннего давления $p_{0,Ed}$ считается обеспеченной при выполнении следующих условий:

$$\text{– для сферических крыш} \quad \frac{p_{0,Ed} R_s}{2t} \leq j f_{y,d} \quad (11.2)$$

$$\text{– для конических крыш} \quad \frac{p_{0,Ed} R_c}{t} \leq j f_{y,d}, \quad \text{где } R_c = r / \sin \alpha \quad (11.3)$$

где j – это коэффициент надежности соединения;

$p_{0,Ed}$ – это радиальный направленный наружу компонент однородно распределенной проектной нагрузки на крышу (т.е. характеристическое значение, помноженное на частный коэффициент надежности согласно Пункту 2.9.2.1);

r – это радиус стенки цилиндрического резервуара;

R_c – это радиус кривизны конической крыши;

R_s – это радиус кривизны сферической крыши;

t – это толщина крыши;

α – это угол наклона конической крыши к горизонту.

11.2.1.4 Коэффициент надежности соединения согласно Пункту 11.2.1(4) СП РК EN 1993-4-2 принимается равным:

$j = 1,00$ – для стыковых сварных швов;

$j = 1,00$ – для соединений внахлестку с угловым сварным швом с обеих сторон.

11.2.1.5 Устойчивость сферической крыши от действия проектного внешнего давления $p_{i,Ed}$ считается обеспеченной при выполнении условия:

$$p_{i,Ed} \leq 0,05 \left\{ 1,21E \left(\frac{t}{R_0} \right)^2 \right\} \quad (11.4)$$

где $R_0 = R_s$;

$p_{i,Ed}$ – это радиальный направленный внутрь компонент однородно распределенной проектной нагрузки на крышу (т.е. характеристическое значение, помноженное на частный коэффициент надежности согласно Пункту 2.9.2.1);

11.2.1.6 Устойчивость конической крыши от действия проектного внешнего давления $p_{i,Ed}$ необходимо проверять в соответствии с указаниями Раздела 7.3 СП РК EN 1993-4-1:

а) для конических крыш диаметром не более 5 м и углом наклона крыши к горизонтали ϕ не более 40° могут применяться Формулы 11.а – 11.в.

– критическое наружное давление потери устойчивости $p_{n,Rcr}$ для изотропной конической крыши следует определять по формуле:

$$p_{n,Rcr} = 2,65E \left(\frac{t \cos \phi}{r} \right)^{2,43} \cdot (\tan \phi)^{1,6} \quad (11.a)$$

где r - внешний радиус крыши;

t - наименьшая толщина листа оболочки;

ϕ - наклон конуса к горизонтальной плоскости.

$$p_{n,Rd} = \frac{\alpha_p p_{n,Rcr}}{\gamma_{M1}} \quad (11.б)$$

где $\gamma_{M1} = 1,1$ — частный коэффициент безопасности по предельному состоянию потери устойчивости.

$$\alpha_p = 0,20.$$

б) расчетное максимальное наружное давление на крышу, возникающее в результате воздействий, определенных в Пункт 7.1 СП РК EN 1993-4-1, должно удовлетворять следующему условию:

$$p_{n,Ed} \leq p_{n,Rd} \quad (11.в)$$

в) проверка устойчивости остальных конических кровель должна выполняться в соответствии с требованиями стандарта EN 1993-1-6.

11.2.2 Крыши с каркасной несущей конструкцией

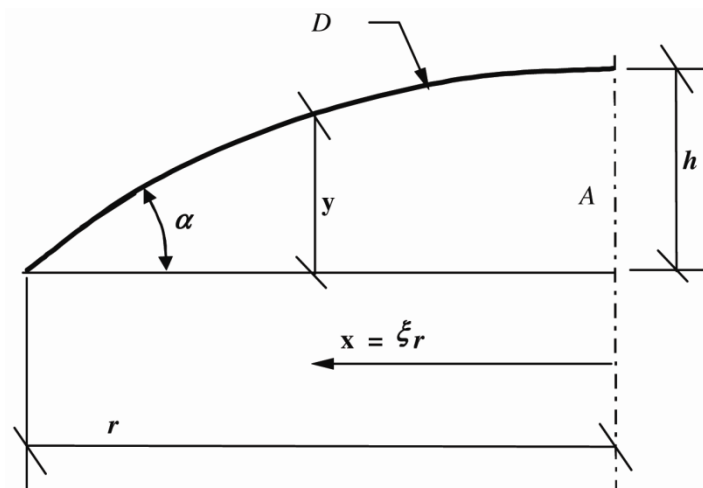
11.2.2.1 Толщина всех элементов крыши должна быть не менее 3 мм для нержавеющей стали и не менее 5 мм для других сталей.

11.2.2.2 Каркасная несущая конструкция должна либо иметь связевую систему (см. Пункт 11.2.4), либо ее жесткость должна быть обеспечена совместной работой с оболочкой (пластинами) крыши.

11.2.2.3 Элементы крыши могут быть рассчитаны с использованием теории больших деформаций.

11.2.2.4 Расчет и проектирование каркасной несущей конструкции крыши необходимо выполнять согласно требований СП РК EN 1993-1-1.

11.2.2.5 При диаметре резервуара до 60 м и симметричной (или незначительно отклоняющейся от симметричной) относительно оси резервуара нагрузке расчет сферических крыш может проводиться согласно указаниям (6) – (10).



D – профиль крыши; A – ось резервуара

Рисунок 11.2 – Координаты сферической крыши резервуара

11.2.2.6 Максимальная вертикальная нагрузка на сферические крыши от воздействия распределенных нагрузок (временных, снеговых, ветровых, постоянных нагрузок и внутреннего или внешнего давления) принимается равной проектному значению $p_{v,Ed}$, направленному вверх или вниз. Если $p_{v,Ed}$ направлена вверх, то она берется с отрицательным знаком. Общее проектное значение вертикальной нагрузки на балку (стропило) крыши определяется по формуле:

$$P_{Ed} = \beta r^2 p_{v,Ed} \quad (11.5)$$

где $\beta = \pi/n$;

n – это количество балок;

r – это радиус резервуара;

$p_{v,Ed}$ – это максимальное значение вертикальной распределенной проектной нагрузки (см. приложение А) включая собственный вес поддерживающей конструкции (направление вниз – положительное);

P_{Ed} – это общая проектная вертикальная нагрузка на балку.

11.2.2.7 Проектные значения нормальных сил N_{Ed} и изгибающих моментов M_{Ed} , возникающих в балках крыши, согласно EN 1993-1-1 могут быть определены из выражений (11.6) и (11.7):

$$N_{Ed} = 0,375 \frac{r}{h} P_{Ed} \quad (11.6)$$

$$M_{Ed} = \frac{1}{3} \left(\frac{r}{1-\xi} \right) \left\{ 1 - \left(\frac{x}{r} \right)^3 - 1,10 \left(\frac{y}{h} \right) \right\} P_{Ed} \quad (11.7)$$

Эти формулы могут применяться, если выполняются следующие условия:

$$p_{v,Ed} \geq 1,2 \text{ кН/м}^2 \quad (11.8)$$

$$I_y \geq \frac{N_d r^2}{\pi^2 E} \quad (11.9)$$

$$b_K \geq 2h_K \quad (11.10)$$

$$A_1 \geq A_2 \quad (11.11)$$

$$h_K^2 \left(\frac{A_1 A_2}{A_1 + A_2} \right) \geq \frac{I_y}{2\beta} \quad (11.12)$$

где

$$\varepsilon = N_{Ed} \frac{(0,6r)^2}{\pi^2 EI_y} \quad (11.13)$$

где h – это стрела подъема крыши резервуара, см. Рисунок 11.2;

x – это радиальное расстояние от осевой линии резервуара, см. Рисунок 11.2;

y – это вертикальная координата крыши, являющаяся функцией координаты x , см.

Рисунок 11.2

b_K – это ширина полки центрального кольца, см. Рисунок 11.3;

h_K – это расстояние по высоте между горизонтальными осями верхней и нижней полок центрального кольца, см. Рисунок 11.3;

A_1 – это площадь верхней полки центрального кольца, см. Рисунок 11.3;

A_2 – это площадь нижней полки центрального кольца, см. Рисунок 11.3;

I_y – это момент инерции сечения балки относительно горизонтальной оси.

11.2.2.8 Если момент инерции сечения балки I_y варьируется по длине балки (например, из-за изменения эффективной ширины плит крыши, работающих совместно с балкой), в (7) может быть использовано значение I_y на расстоянии $0,5r$ от оси резервуара.

11.2.2.9 При условии выполнения условий, приведенных в Пункте (7) при проектировании центрального кольца можно ограничиться расчетом только нижнего пояса.

11.2.2.10 Если для опирания оболочки крыши используются хотя бы 10 равноудаленных балок, то продольное усилие $N_{r,Ed}$ и изгибающий момент $M_{r,Ed}$ в центральном кольце могут быть определены по формулам (11.14) и (11.15):

$$N_{r,Ed} = \frac{N_{2,Ed}}{2\beta} \quad (11.14)$$

$$M_{r,Ed} = \frac{r_k \beta N_{2,Ed}}{2(3 + \beta^2)} \quad (11.15)$$

где

$$N_{2,Ed} = \frac{N_{Ed} e_0}{h_K} + \frac{M_{Ed}}{h_K} \quad (11.16)$$

где $N_{2,Ed}$ – проектное значение продольного усилия в нижней полке центрального кольца;

N_{Ed} – проектное значение продольного усилия в балке;

M_{Ed} – проектное значение изгибающего момента в сечении балки в месте примыкания к центральному кольцу;

e_0 – эксцентриситет нейтральной оси балки относительно оси верхнего пояса центрального кольца, см. Рисунок 11.3;

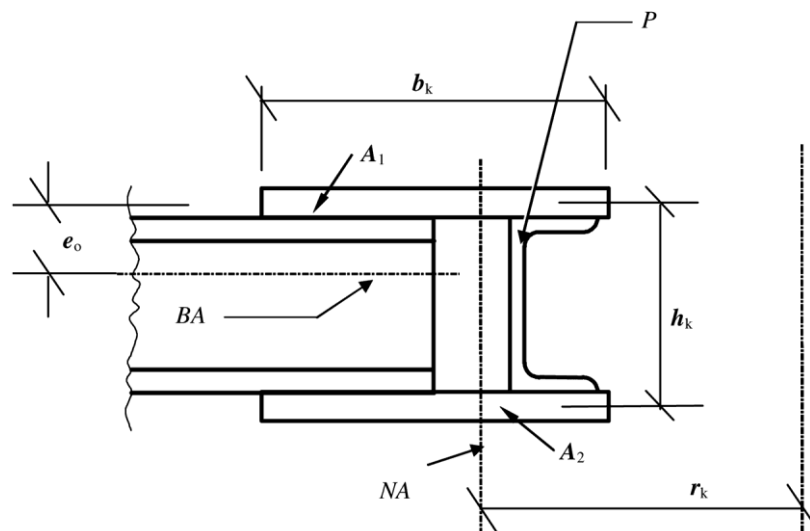
r_k – это радиус вертикальной нейтральной оси центрального кольца относительно центральной оси резервуара, см. Рисунок 11.3.

11.2.3 Крыша, поддерживаемая колоннами

11.2.3.1 Толщина всех элементов крыши должна быть не менее 3 мм для нержавеющей стали и не менее 5 мм для других сталей.

11.2.3.2 Элементы крыши могут быть спроектированы с использованием теории больших деформаций.

11.2.3.3 Проектирование каркасной несущей конструкции крыши должно отвечать требованиям EN 1993-1-1.



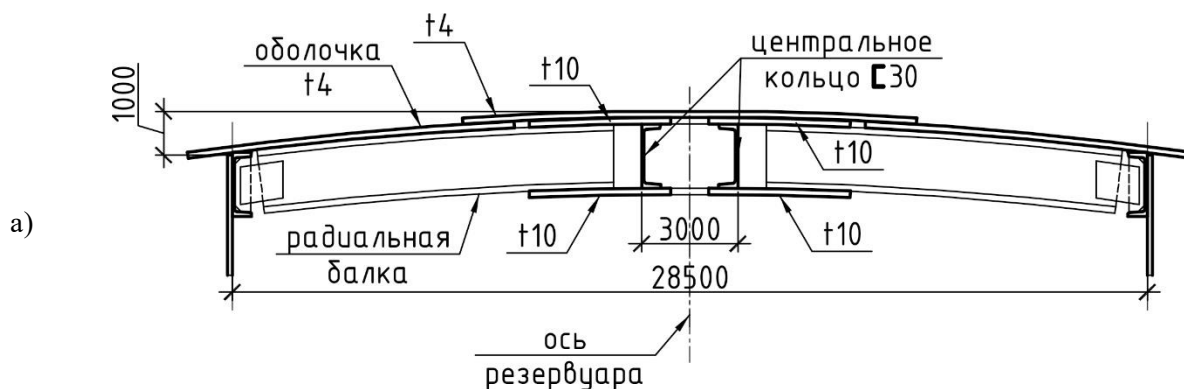
Р – профиль, выполняющий роль стенки центрального кольца; ВА – ось балки; А – ось резервуара; NA – нейтральная вертикальная ось, относительно которой происходит изгиб центрального кольца в горизонтальной плоскости

Рисунок 11.3 – Центральное кольцо крыши

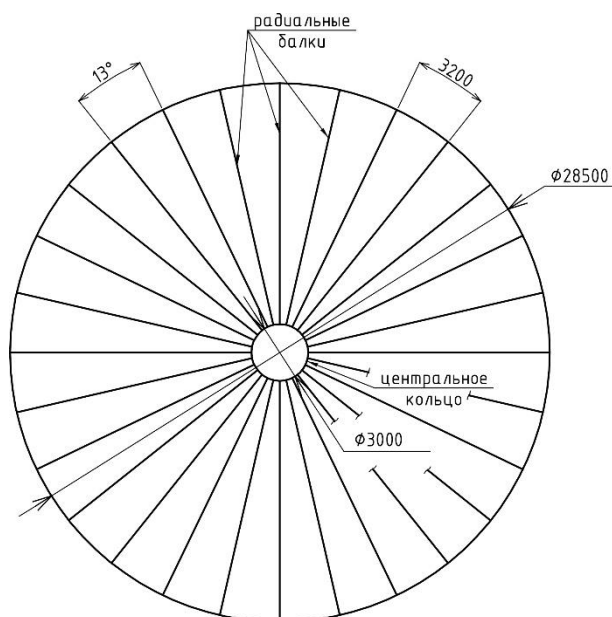
ПРИМЕР 3 Расчет радиальных балок и центрального кольца сферической крыши

1 Исходные данные

В данном примере рассматривается упрощенный подход к проектированию сферической крыши резервуара с несущей каркасной конструкцией в виде радиальных балок. Характеристики резервуара и нагрузки – см. Пример 1. Схема крыши и расположение несущих конструкций крыши приведены на Рисунке 1.



б)



а – поперечный разрез; б – вид в плане

Рисунок 1 – Схема крыши и расположение несущих конструкций крыши**2 Порядок расчета**

Расчет конструкций крыши производится в соответствии с указаниями Пункта 11.2.2 СП РК EN 1993-4-2 в следующем порядке:

1. Расчет радиальных балок

1.1. Определение нагрузки на балку (Формула 11.5 СП РК EN 1993-4-2)

1.2. Определение внутренних усилий, действующих в радиальной балке (Формулы 11.6, 11.7 СП РК EN 1993-4-2)

1.2.1 Определение нормальных усилий N_{Ed} по Формуле 11.6 СП РК EN 1993-4-2

1.2.2 Предварительный подбор поперечного сечения радиальной балки

1.2.3 Определение характеристик подобранного сечения (с учетом указаний Пункта 7.4.2.2.2 СП РК EN 1993-4-2)

1.2.4 Определение изгибающих моментов M_{Ed} по Формуле 11.7 СП РК EN 1993-4-2

3 Расчет радиальных балок**3.1 Определение нагрузки на балку**

Общая проектная вертикальная нагрузка на балку P_{Ed} определяется по Формуле 11.5 СП РК EN 1993-4-2:

$$P_{Ed} = \beta r^2 p_{v,Ed}$$

где $\beta = \pi/n = \frac{3,14}{28} = 0,1122$;

n – количество радиальных балок крыши, $n = 28$;

r – радиус резервуара, $r = 14,25$ м;

$p_{v,Ed}$ – это максимальное значение вертикальной распределенной проектной нагрузки, включая собственный вес поддерживающей конструкции:

$$p_{v,Ed} = p_{сн} + p_{с.в.} + p_{техн} = 1,4 + 0,4 + 0,4 = 2,2 \text{ кПа}$$

где $p_{сн}$ – нагрузка от снегового покрова, $p_{сн} = 1,4$ кПа;

$p_{с.в.}$ – нагрузка от собственного веса поддерживающей конструкции, $p_{с.в.} = 0,4$ кПа;

$p_{техн}$ – нагрузка от технического оборудования, $p_{техн} = 0,4$ кПа.

$$P_{Ed} = \beta r^2 p_{v,Ed} = 0,1122 \cdot 14,25^2 \cdot 2,2 = 50,124 \text{ кН}$$

3.2 Определение внутренних усилий, действующих в радиальной балке

Определение внутренних усилий (продольных сил N_{Ed} и изгибающих моментов M_{Ed}) в радиальной балке выполняется по Формулам 11.6, 11.7 СП РК EN 1993-4-2.

3.2.1 Определение нормальных усилий N_{Ed}

Проектное значение нормальных усилий N_{Ed} определяется по Формуле 11.6 СП РК EN 1993-4-2:

$$N_{Ed} = 0,375 \frac{r}{h} P_{Ed} = 0,375 \cdot \frac{14,25}{1} \cdot 50,124 = 267,85 \text{ кН}$$

где h – стрела подъема крыши резервуара, $h = 1$ м.

3.2.2 Предварительный подбор поперечного сечения радиальной балки

Поскольку в Формулу 11.7 СП РК EN 1993-4-2 входят геометрические характеристики сечения балки (I_y), то для определения усилий, действующих в балке, необходимо предварительно задаться сечением балки. Простейшим вариантом предварительного определения сечения изгибаемого элемента является рассмотрение его как статически определимой однопролетной балки. В данном примере такая балка может рассматриваться, как загруженная равномерно распределенной нагрузкой интенсивностью $p_{v,Ed}$. Определение предварительных размеров радиальной балки выполним из условия прочности (Формула 6.12 СП РК EN 1993-1-1).

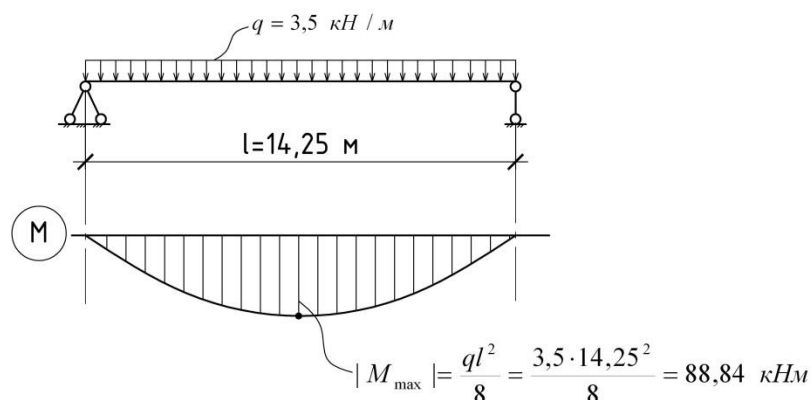


Рисунок 2 – К определению предварительного сечения радиальной балки

Определение необходимого сечения радиальной балки как изгибаемого элемента производится из условия прочности по Формуле 6.12 СП РК EN 1993-1-1:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1,0$$

где $M_{Ed} = M_2 = 88,84 \text{ кН} \cdot \text{м}$ – максимальный расчетный момент из статического расчета;

$M_{c,Rd}$ – расчётная несущая способность при изгибе относительно одной из главных осей поперечного сечения, которая определяется по Формулам 6.13...6.15 СП РК EN 1993-1-1 в зависимости от принятого класса поперечного сечения.

Класс поперечного сечения определяется согласно указаниям Пункта 5.5.2 СП РК EN 1993-1-1. Принимаем в примере 3-й класс поперечного сечения, для которого расчётная несущая способность при изгибе $M_{c,Rd}$ определяется по Формуле 6.14 СП РК EN 1993-1-1:

$$M_{c,Rd} = M_{el,Rd} = \frac{W_{el,min} f_y}{\gamma_{M0}}$$

где $W_{el,min}$ – момент сопротивления сечения для волокон с максимальным напряжением, не превышающим предел упругости;

f_y – характеристическое значение предела текучести стали;

НТП РК 03-04-2.1-2012

γ_{M0} – частный коэффициент надежности, принимается с соответствии с Пунктом 2.9.2.2 СП РК EN 1993-4-2; $\gamma_{M0} = 1,00$.

По Таблице 3.1 СП РК EN 1993-1-1 для резервуара принимаем сталь S235 с характеристиками $f_y = 235 \text{ Н/мм}^2$ и $f_u = 360 \text{ Н/мм}^2$ при толщине проката до 40 мм.

Определим требуемый момент сопротивления из условия предельного состояния, при котором

$$W_{el,min}^{tr} = \frac{M_{c,Rd} \cdot \gamma_{M0}}{f_y} = \frac{M_{Ed} \cdot \gamma_{M0}}{f_y} = \frac{88840 \cdot 1}{235 \cdot 10^6} = 387.04 \text{ см}^3$$

Принимаем в качестве предварительного сечения радиальной балки двутавр №30 по ГОСТ 8239-89.

3.2.3 Определение геометрических характеристик поперечного сечения радиальной балки

Определение геометрических характеристик поперечного сечения радиальной балки производим с учетом рекомендаций Пункта 7.4.2.2.2 СП РК EN 1993-4-2, в соответствии с которым можно учитывать совместную работу радиальной балки и прикрепленного к балке участка обшивки крыши шириной 16t. Определение геометрических характеристик балки производится с использованием основных формул сопротивления материалов.

3.2.3.1 Определение положения центра тяжести сечения радиальной балки и настила кровли (см. Рисунок 3)

За начало вспомогательной системы координат принимаем центр тяжести двутавра.

Определяем расстояния от центра тяжести сечений элементов до начала координат вспомогательной системы координат:

$$\begin{aligned} x_{\text{двутавра}} &= 0 & u_{\text{двутавра}} &= 0 \\ x_{\text{листа}} &= 0 & u_{\text{листа}} &= 15,2 \text{ см} \end{aligned}$$

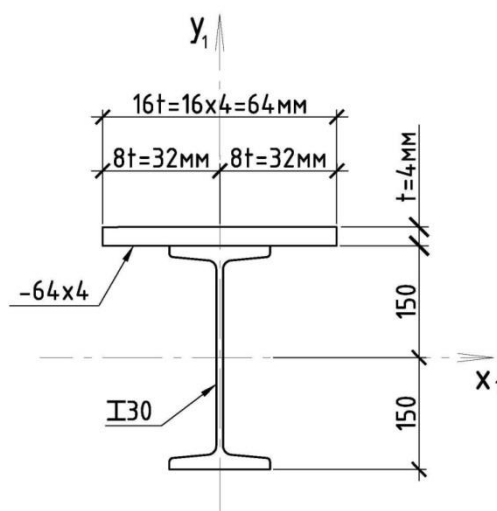


Рисунок 3 – К расчету геометрических характеристик радиальной балки

Определяем координаты центра тяжести. Для симметричного относительно вертикальной оси сечения определяем только координату u :

$$u = \frac{A_{\text{двутавра}} \cdot u_{\text{двутавра}} + A_{\text{листа}} \cdot u_{\text{листа}}}{A_{\text{двутавра}} + A_{\text{листа}}} = \frac{46,5 \cdot 0 + 2,56 \cdot 15,2}{46,5 + 2,56} = 0,793 \text{ см}$$

Проверка правильности определения центра тяжести:

$$S_{xc} = 46,5 \cdot (-0,793) + 2,56 \cdot 14,407 = 7,4 \cdot 10^{-3}$$

Проверка выполняется, положение центра тяжести определено верно.

3.2.3.2 Определение момента инерции относительно горизонтальной оси

$$I_y = 7080 + 0,03 + [46,5 \cdot (-0,793)^2 + 2,56 \cdot 14,407^2] = 7640,6 \text{ см}^4$$

3.2.3.3 Определение изгибающих моментов M_{Ed}

Величина ε по Формуле 11.13 СП РК EN 1993-4-2:

$$\varepsilon = N_{Ed} \frac{(0,6r)^2}{\pi^2 E I_y} = 267,85 \cdot 10^3 \cdot \frac{(0,6 \cdot 14,25)^2}{3,14^2 \cdot 2,1 \cdot 10^{11} \cdot 7640,6 \cdot 10^{-8}} = 0,124$$

Определяем значение изгибающих моментов M_{Ed} по Формуле 11.7 СП РК EN 1993-4-2:

$$M_{Ed} = \frac{1}{3} \left(\frac{r}{1-\varepsilon} \right) \left\{ 1 - \left(\frac{x}{r} \right)^3 - 1,10 \left(\frac{y}{h} \right) \right\} P_{Ed}$$

где x – радиальное расстояние от осевой линии резервуара, см. Рисунок 11.2 СП РК EN 1993-4-2), $x = 7,1$ м;

y – это вертикальная координата крыши, являющаяся функцией координаты x (см. Рисунок 11.2 СП РК EN 1993-4-2); $y = 0,25$ м;

I_y – это момент инерции сечения балки относительно горизонтальной оси.

$$\begin{aligned} M_{Ed} &= \frac{1}{3} \left(\frac{r}{1-\varepsilon} \right) \left\{ 1 - \left(\frac{x}{r} \right)^3 - 1,10 \left(\frac{y}{h} \right) \right\} P_{Ed} = \\ &= \frac{1}{3} \left(\frac{14,25}{1-0,124} \right) \left\{ 1 - \left(\frac{7,1}{14,25} \right)^3 - 1,10 \left(\frac{0,25}{1} \right) \right\} \cdot 50,124 = 163,4 \text{ кН} \cdot \text{м} \end{aligned}$$

Согласно Пункту 11.2.2.7 СП РК EN 1993-4-2 полученные результаты могут использоваться в расчете, только если выполняются условия 11.8-11.12 СП РК EN 1993-4-2:

а) условие 11.8 СП РК EN 1993-4-2

$$\begin{aligned} p_{v,Ed} &\geq 1,2 \text{ кН/м}^2 \\ 2,2 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} &> 1,2 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \quad \text{Условие выполняется} \end{aligned}$$

б) условие 11.9 СП РК EN 1993-4-2

$$\begin{aligned} I_y &\geq \frac{N_d r^2}{\pi^2 E} = \frac{267,85 \cdot 14,25^2}{3,14^2 \cdot 2,1 \cdot 10^8} = 2624 \cdot 10^{-8} \text{ м}^4 = 2624 \text{ см}^4 \\ 7640,6 \text{ см}^4 &> 2624 \text{ см}^4 \quad \text{Условие выполняется} \end{aligned}$$

в) условие 11.10 СП РК EN 1993-4-2

$$b_K \geq 2h_K$$

При первоначальном значении $b_K = 370$ мм

$$370 \text{ мм} < 620 \text{ мм} \quad \text{Условие не выполняется}$$

Принимаем $b_K = 620$ мм

г) условие 11.11 СП РК EN 1993-4-2

$$A_1 \geq A_2$$

Принимаем одинаковые накладки по верхнему и нижнему поясам центрального кольца, тогда

$$A_1 = A_2 \quad \text{Условие выполняется}$$

д) условие 11.12 СП РК EN 1993-4-2 (см. Рисунок 4)

$$\begin{aligned} h_K^2 \left(\frac{A_1 A_2}{A_1 + A_2} \right) &\geq \frac{I_y}{2\beta} \\ h_K^2 \left(\frac{A_1 A_2}{A_1 + A_2} \right) &= 31^2 \cdot \left(\frac{(62 \cdot 1) \cdot (62 \cdot 1)}{62 + 62} \right) = 29791 \text{ см}^4 \\ \frac{I_y}{2\beta} &= \frac{7640,6}{2 \cdot 0,1122} = 34049 \text{ см}^4 \\ 29791 \text{ см}^4 &> 34049 \text{ см}^4 \quad \text{Условие не выполняется} \end{aligned}$$

Принимаем толщину накладки по центральному кольцу 12 мм. Тогда

$$h_k^2 \left(\frac{A_1 A_2}{A_1 + A_2} \right) = 31,2^2 \cdot \left(\frac{(62 \cdot 1,2) \cdot (62 \cdot 1,2)}{62 + 62} \right) = 43454,4 \text{ см}^4$$

$43454,4 \text{ см}^4 > 34049 \text{ см}^4$ Условие выполняется

Окончательно принимаем усилия в радиальной балке равными $N_{Ed} = 267,85 \text{ кН}$ и $M_{Ed} = 163,4 \text{ кН} \cdot \text{м}$. Дальнейший расчет радиальной балки проводится согласно указаниям СП РК EN 1993-1-1.

3.3 Определение внутренних усилий, действующих в центральном кольце

Определение внутренних усилий, действующих в центральном кольце, проводим по Формулам 11.14, 11.15, приведенным в Пункте 11.2.2.10 СП РК EN 1993-4-2.

3.3.1 Определение геометрических характеристик поперечного сечения центрального кольца

Определение геометрических характеристик поперечного сечения центрального кольца производится с использованием основных формул сопротивления материалов.

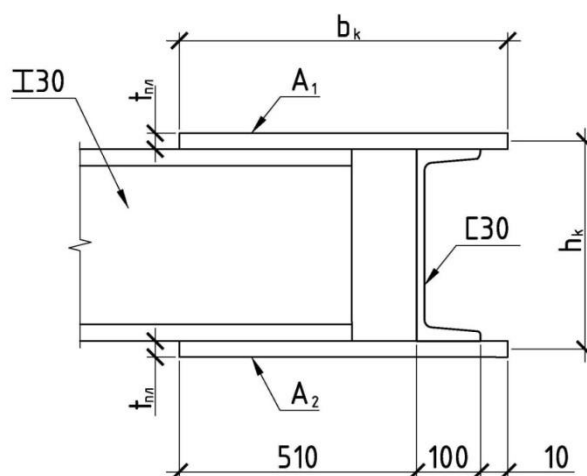


Рисунок 4 – К расчету центрального кольца

3.3.3.1 Определение положения центра тяжести сечения (см. Рисунок 5)

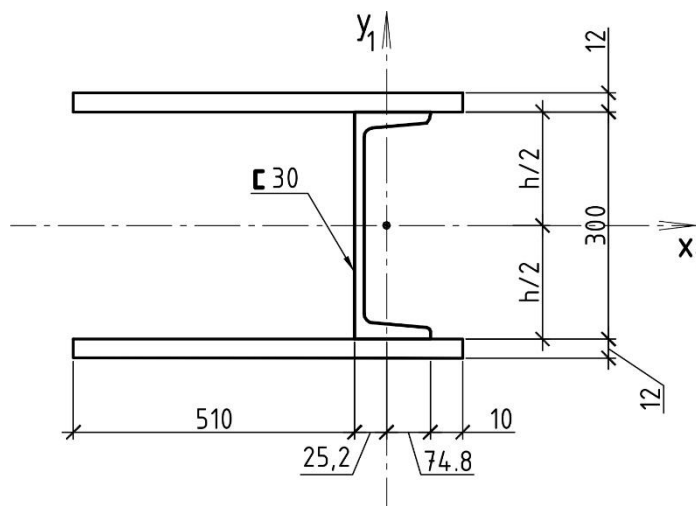


Рисунок 5 – К расчету геометрических характеристик центрального кольца

Определение положения центра тяжести сечения радиальной балки и настила кровли.

За начало вспомогательной системы координат принимаем центр тяжести швеллера.

Определяем расстояния от центра тяжести сечений элементов до начала координат

вспомогательной системы:

$$\begin{aligned}x_{\text{швеллера}} &= 0 & y_{\text{швеллера}} &= 0 \\x_{\text{н.листа}} &= -22,52 \text{ см} & y_{\text{н.листа}} &= -15,5 \text{ см} \\x_{\text{в.листа}} &= -22,52 \text{ см} & y_{\text{в.листа}} &= 15,5 \text{ см}\end{aligned}$$

Определяем координаты центра тяжести. Для сечения, симметричного относительно горизонтальной оси, определяем только координату x :

$$\begin{aligned}x &= \frac{A_{\text{швеллера}} \cdot x_{\text{швеллера}} + A_{\text{н.листа}} \cdot x_{\text{н.листа}} + A_{\text{в.листа}} \cdot x_{\text{в.листа}}}{A_{\text{двутавра}} + A_{\text{листа}} + A_{\text{в.листа}}} = \\&= \frac{40,5 \cdot 0 + 74,4 \cdot (-22,52) + 74,4 \cdot (-22,52)}{40,5 + 74,4 + 74,4} = -17,7 \text{ см}\end{aligned}$$

Определяем расстояние от центра тяжести сечения элементов до центра тяжести составного сечения по горизонтали:

$$\begin{aligned}a_{\text{швеллера}} &= x_{\text{швеллера}} - x = 0 + 16,98 = 16,98 \text{ см} \\a_{\text{н.листа}} &= x_{\text{н.листа}} - x = -22,52 + 16,98 = -5,54 \text{ см} \\a_{\text{в.листа}} &= x_{\text{в.листа}} - x = -22,52 + 16,98 = -5,54 \text{ см}\end{aligned}$$

Проверка правильности определения центра тяжести:

$$\begin{aligned}S_{\text{yc}} &= A_{\text{швеллера}} \cdot a_{\text{швеллера}} + A_{\text{н.листа}} \cdot a_{\text{н.листа}} + A_{\text{в.листа}} \cdot a_{\text{в.листа}} \\S_{\text{yc}} &= 40,5 \cdot 17,7 + 74,4 \cdot (-4,82) + 74,4 \cdot (-4,82) = -0,366 \sim 0\end{aligned}$$

Проверка выполняется, положение центра тяжести определено правильно.

Расстояние от оси резервуара до вертикальной оси, проходящей через центр тяжести центрального кольца, составляет $150 + 17,7 = 167,7 \text{ см}$.

3.3.2 Определение продольного усилия $N_{r,Ed}$

Продольное усилие $N_{r,Ed}$, действующее в центральном кольце, определяем по Формуле 11.14 СП РК EN 1993-4-2.:

$$N_{r,Ed} = \frac{N_{2,Ed}}{2\beta} = \frac{650,8}{2 \cdot 0,1122} = 2900,2 \text{ кН}$$

где

$$N_{2,Ed} = \frac{N_{Ed}e_0}{h_K} + \frac{M_{Ed}}{h_K} = \frac{267,85 \cdot 0,14807}{0,312} + \frac{163,4}{0,312} = 650,8 \text{ кН}$$

где $N_{2,Ed}$ – проектное значение продольного усилия в нижней полке центрального кольца;
 e_0 – эксцентриситет нейтральной оси балки относительно оси верхнего пояса центрального кольца, $e_0 = 15 + 0,6 - 0,793 = 14,807 \text{ см}$.

3.3.3 Определение изгибающего момента $M_{r,Ed}$

Определение изгибающего момента $M_{r,Ed}$ в центральной кольцевой балке по Формуле 11.15:

$$M_{r,Ed} = \frac{r_K \beta N_{2,Ed}}{2(3 + \beta^2)} = \frac{1,677 \cdot 0,1122 \cdot 650,8}{2 \cdot (3 + 0,1122^2)} = 20,3 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

где r_K – это радиус вертикальной нейтральной оси центрального кольца относительно центральной оси резервуара, $r_K = 1,677 \text{ м}$.

11.2.4 Связи

11.2.4.1 Для обеспечения жесткости покрытия необходима установка связевой системы, если только в проекте не предусмотрено обеспечение жесткости путем соответствующего закрепления обшивки крыши резервуара к несущим элементам.

11.2.4.2 При диаметре кровли резервуара более 15 м необходимо устанавливать не менее двух связевых блоков (т.е. двух пар балок, соединенных между собой связевыми

элементами). Связевые блоки должны быть равномерно распределены по окружности резервуара.

11.2.4.3 При использовании связевой системы в резервуарах диаметром от 15 до 25 м по кровле необходимо предусматривать дополнительный кольцевой элемент жесткости. Для резервуаров диаметром более 25 м необходимо предусматривать два дополнительных кольцевых элемента жесткости.

11.2.4.4 Элементы связей рассчитываются на усилие, равное 1% от суммы нормальных сил в элементах покрытия.

11.2.5 Опорное кольцо карнизного узла

11.2.5.1 При расчете опорного кольца используется понятие эффективной площади, которая включает в себя непосредственно кольцевой элемент и участки стенки и кровли (см. Рисунок 11.4). Прочность опорного кольца считается обеспеченной, если выполняется условие (11.17):

$$\frac{N_{Ed}}{A_{eff}} \leq f_{y,d} \quad (11.17)$$

где

$$N_{Ed} = \frac{p_{v,Ed} r^2}{2 \tan \alpha} \quad (11.18)$$

где A_{eff} – это эффективная (приведенная) площадь верхнего опорного кольца, указанная на Рисунке 11.4;

α – это угол наклона кровли к горизонту в карнизном узле;

$p_{v,Ed}$ – это максимальное значение вертикальной проектной распределенной нагрузки, включая собственный вес поддерживающей конструкции (направление вниз – положительное).

11.2.5.2 Если расстояние между узлами примыкания балок покрытия к опорному кольцу не превышает 3,25 м, то устойчивость опорного кольца считается обеспеченной.

11.2.5.3 Если проектная распределенная нагрузка $p_{v,Ed}$ направлена вверх, то изгибающие моменты, возникающие в опорном кольце, можно не учитывать.

11.2.5.4 Если расстояние между узлами примыкания балок покрытия к опорному кольцу не превышает 3,25 м и проектная распределенная нагрузка $p_{v,Ed}$ направлена вниз, то изгибающие моменты, возникающие в опорном кольце, можно не учитывать.

11.2.5.5 Если расстояние между узлами примыкания балок покрытия к опорному кольцу превышает 3,25 м, то дополнительно к продольному усилию N_{Ed} , действующему в опорном кольце, необходимо учитывать изгибающие моменты в горизонтальной плоскости (относительно вертикальной оси). Значения изгибающих моментов определяются по Формулам (11.19) и (11.20) (момент принят положительным, если он вызывает растягивающие напряжения (усилия) по внутренней зоне опорного кольца).

В опорном сечении (в месте примыкания балок кровли):

$$M_{s,Ed} = - \left(\frac{p_{v,Ed} r^3}{2 \tan \alpha} \right) \left(1 - \frac{\beta}{\tan \beta} \right) \quad (11.19)$$

На половине расстояния между балками:

$$M_{s,Ed} = - \left(\frac{p_{v,Ed} r^3}{2 \tan \alpha} \right) \left(\frac{\beta}{\sin \beta} - 1 \right) \quad (11.20)$$

ПРИМЕЧАНИЕ Там, где $p_{v,Ed}$ действует в направлении вверх, оно берется как отрицательное, вызывая изменение знака во всех нормальных силах и изгибающих моментах.

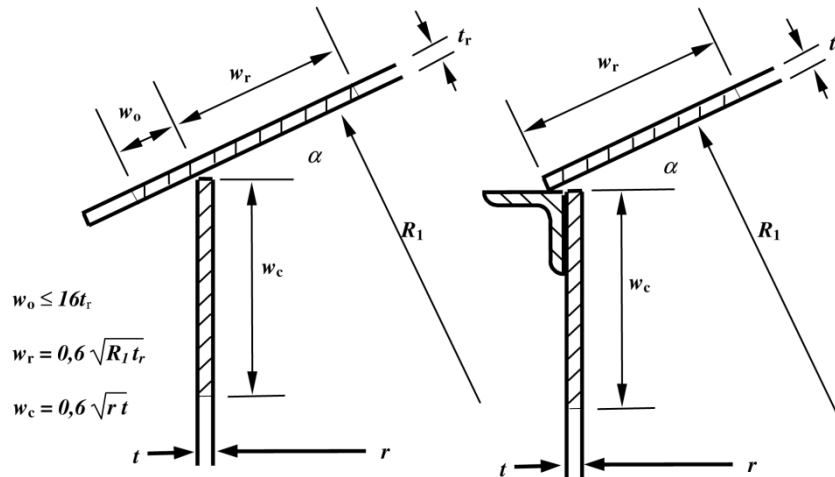


Рисунок 11.4 – Верхнее опорное кольцо карнизного узла

11.3 Проектирование оболочки

11.3.1 Оболочка

11.3.1.1 Для каждого пояса оболочки от действия гидростатического и внутреннего избыточного давления необходимо проверить выполнение условия:

$$[\gamma_F \rho g H_{red} + p_{Ed}] \left(\frac{r}{t} \right) \leq f_{y,d} \quad (11.21)$$

где значение H_{red} для j – го пояса $H_{red,j}$ определяется через значение $H_{red,j-1}$ для нижерасположенного пояса $j - 1$:

$$H_{red,j} = H_j - \Delta H \quad \text{если} \quad \frac{H_{red,j-1}}{f_{y,d,j-1}} \geq \frac{H_{red,j}}{f_{y,d,j}} \quad (11.22)$$

$$H_{red,j} = H_j \quad \text{если} \quad \frac{H_{red,j-1}}{f_{y,d,j-1}} < \frac{H_{red,j}}{f_{y,d,j}} \quad (11.23)$$

где $\Delta H = 0,3$ м

ρ – плотность хранимой жидкости;

g – ускорение свободного падения;

H_j – расстояние по вертикали от низа j – го пояса стенки до уровня жидкости;

p_{Ed} – проектное значение внутреннего избыточного давления над уровнем жидкости (т.е. характеристическое значение, умноженное на частный коэффициент надежности согласно приложению А).

ПРИМЕР 4 Определение толщины стенки резервуара с использованием упрощенного

подхода

Приведен пример определения толщин стенки резервуара с использованием упрощенного подхода к проектированию резервуара согласно Пункта 11.3.1 СП РК EN 1993-4-2.

1 Исходные данные – взяты из Примера 1

Тип хранимой жидкости – бензол.

Удельный вес – $\rho = 8,8 \text{ кН/м}^3$ (Приложение А, Таблица А.10 СП РК EN 1991-1-1).

Проектный уровень налива – $H_n = 16,5 \text{ м}$.

2 Методика определения толщин поясов

Для каждого пояса оболочки от действия гидростатического и внутреннего избыточного давления необходимо проверить выполнение условия 11.21 СП РК EN 1993-4-2:

$$[\gamma_F \rho_g H_{red,j} + p_{Ed}] \left(\frac{r}{t_j} \right) \leq f_{yd,j}$$

где γ_F – коэффициент надежности по гидростатической нагрузке; по Пункту В.3(2) СП РК EN 1991-4 $\gamma_F = 1,20$;

$\rho = 8,8 \text{ кН/м}^3$ – удельный вес бензола (см. исходные данные)

$r = 14,25 \text{ м}$ – радиус резервуара (см. исходные данные)

t_j – толщина j – го пояса стенки резервуара (см. исходные данные)

$f_{yd,j}$ – проектное значение предела текучести стали j – го пояса стенки резервуара

В примере с целью наглядности использования указаний Пункта 11.3.1 СП РК EN 1993-4-2 приняты следующие марки стали: S355, S275, S235. Использование данных марок сталей применимо к различным поясам стенки проиллюстрировано на Рисунке 2.

$H_{red,j}$ – приведенная высота жидкости, хранящейся в резервуаре, для j – го пояса стенки резервуара.

где значение H_{red} для j – го пояса $H_{red,j}$ определяется через значение $H_{red,j-1}$ для нижерасположенного пояса $j - 1$ из условий 11.22 и 11.23 СП РК EN 1993-4-2:

$$H_{red,j} = H_j - \Delta H \quad \text{если} \quad \frac{H_{red,j-1}}{f_{yd,j-1}} \geq \frac{H_{red,j}}{f_{yd,j}}$$

$$H_{red,j} = H_j \quad \text{если} \quad \frac{H_{red,j-1}}{f_{yd,j-1}} < \frac{H_{red,j}}{f_{yd,j}}$$

где $\Delta H = 0,3 \text{ м}$;

p_{Ed} – проектное значение внутреннего избыточного давления над уровнем жидкости.

В данном примере принимаем, что избыточное давление отсутствует ($p_{Ed} = 0$), тогда условие 11.21 принимает следующий вид:

$$\gamma_F \rho_g H_{red,j} \left(\frac{r}{t_j} \right) \leq f_{yd,j}$$

Следовательно, требуемая толщина стенки j – го пояса резервуара определяется по формуле:

$$t_j = \frac{\gamma_F \rho_g H_{red,j} r}{f_{yd,j}}$$

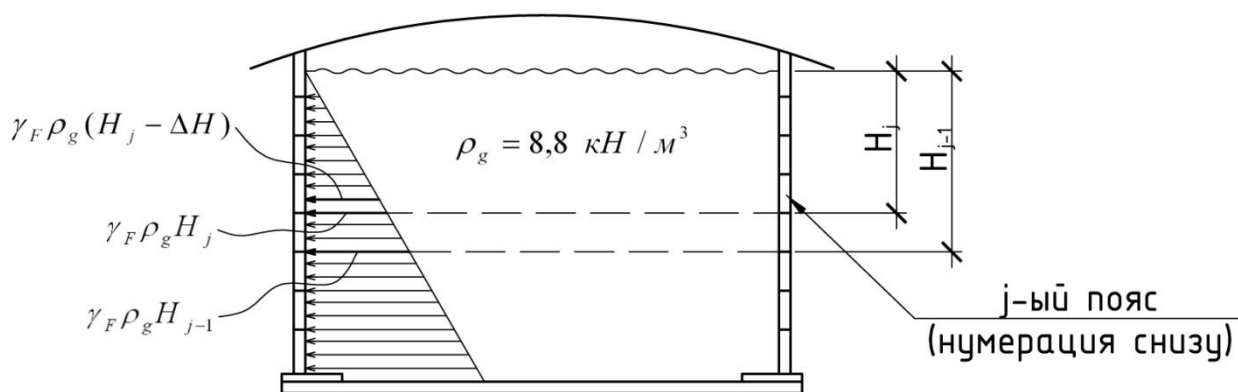
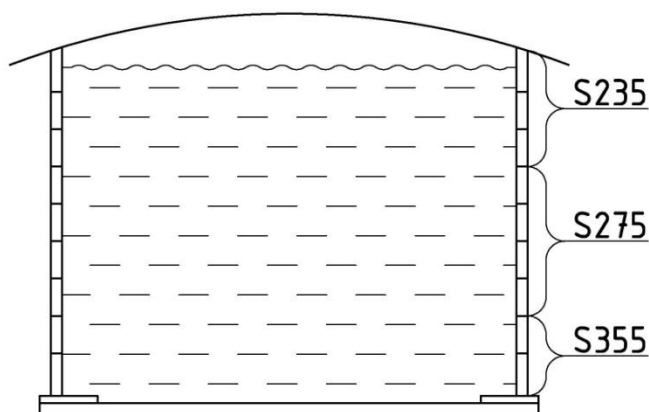
Рисунок 1 – К определению приведенной высоты $H_{red,j}$ 

Рисунок 2 – Использование сталей в поясах резервуара

3 Определение толщин поясов

3.1 Пояс 1

Учитывая, что отсутствует пояс ниже первого, то не представляется возможным использовать условия 11.22 и 11.23 СП РК EN 1993-4-2 для определения $H_{red,1}$. Принимаем наиболее неблагоприятное значение (максимальное) $H_{red,1}$ из следствия условий 11.22 и 11.23 СП РК EN 1993-4-2:

$$H_{red,1} = H_1 = 16,5 \text{ м} > H_{red,1} = H_1 - \Delta H = 16,5 - 0,3 = 16,2 \text{ м}$$

По Таблице 3.1 СП РК EN 1993-1-1 для первого пояса резервуара принимаем сталь S355 с характеристиками $f_{y,1} = 355 \text{ Н/мм}^2$ и $f_{u,1} = 510 \text{ Н/мм}^2$ при толщине проката до 40 мм.

Проектное значение предела текучести стали определяется по Формуле 11.1 СП РК EN 1993-4-2:

$$f_{yd,1} = f_{y,1} / \gamma_{M0} = \frac{355}{1,00} = 355 \text{ Н/мм}^2 = 355 \text{ МПа}$$

где γ_{M0} – принимается с соответствие с Пунктом 2.9.2.2 и Таблицей 2.2 СП РК EN 1993-4-2; $\gamma_{M0} = 1,00$.

Тогда минимальная расчетная толщина стенки для первого пояса составит:

$$t_1^{tr} = \frac{\gamma_F \rho_g H_{red,1}}{f_{yd,1}} = \frac{14,25 \cdot 1,2 \cdot 8,8 \cdot 16,5}{355} = 6,994 \text{ мм}$$

Принимаем толщину первого пояса равной ближайшей большей величине проката по ГОСТ 19903-74 с учетом отрицательного предельного отклонения по толщине.

Тогда при толщине листа, равной 8 мм, расчетное значение толщины первого пояса стенки

составит:

$$t_1^p = t + \delta \geq t_1^{tp} = 8 + (-0,8) = 7,2 \text{ мм} > 6,994 \text{ мм}$$

где $t = 8 \text{ мм}$ – номинальное значение толщины проката по ГОСТ 19903-74;

$\delta = -0,8 \text{ мм}$ – предельное отклонение по толщине проката по ГОСТ 19903-74;

Проверка:

$$\gamma_F \rho_g H_{red,1} \left(\frac{r}{t_1^p} \right) = 1,2 \cdot 8,8 \cdot 16,5 \cdot \frac{14,25}{7,2} = 344,9 \text{ МПа} \leq f_{yd,1} = 355 \text{ МПа}$$

Прочность первого пояса стенки при толщине листа, равной 8 мм, обеспечена.

3.2 Пояс 2

Для определения $H_{red,2}$ проверяем условия 11.22 и 11.23 СП РК EN 1993-4-2:

$$\frac{H_{red,1}}{f_{yd,1}} = \frac{16,5}{355} = 0,0465 > \frac{H_{red,2}}{f_{yd,2}} = \frac{14,5}{355} = 0,0408$$

где в качестве предварительных приведенных расчетных высот жидкости для рассматриваемых поясов ($H_{red,1}$, $H_{red,2}$) приняты расстояния от верха налива жидкости в резервуаре до низа рассматриваемого пояса (по аналогии с Рисунком 1).

Следовательно $H_{red,2} = H_2 - \Delta H = 14,5 - 0,3 = 14,2 \text{ м}$

По Таблице 3.1 СП РК EN 1993-1-1 для второго пояса резервуара принимаем сталь S355 с характеристиками $f_{y,2} = 355 \text{ Н/мм}^2$ и $f_{u,2} = 510 \text{ Н/мм}^2$ при толщине проката до 40 мм.

Проектное значение предела текучести стали определяется по Формуле 11.1 СП РК EN 1993-4-2:

$$f_{yd,2} = f_{y,2} / \gamma_{M0} = \frac{355}{1,00} = 355 \text{ Н/мм}^2 = 355 \text{ МПа}$$

где γ_{M0} – принимается с соответствии с Пунктом 2.9.2.2 и Таблицей 2.2 СП РК EN 1993-4-2; $\gamma_{M0} = 1,00$.

Тогда минимальная расчетная толщина стенки для второго пояса составит:

$$t_2^{tp} = \frac{\gamma_F \rho_g H_{red,2}}{f_{yd,2}} = \frac{14,25 \cdot 1,2 \cdot 8,8 \cdot 14,2}{355} = 6,019 \text{ мм}$$

Принимаем толщину второго пояса равной ближайшей большей величине проката по ГОСТ 19903-74 с учетом отрицательного предельного отклонения по толщине.

Тогда при толщине листа, равной 7 мм, расчетное значение толщины второго пояса стенки составит:

$$t_2^p = t + \delta \geq t_2^{tp} = 7 + (-0,6) = 6,4 \text{ мм} > 6,019 \text{ мм}$$

где $t = 7 \text{ мм}$ – номинальное значение толщины проката по ГОСТ 19903-74;

$\delta = -0,6 \text{ мм}$ – предельное отклонение по толщине проката по ГОСТ 19903-74;

Проверка:

$$\gamma_F \rho_g H_{red,2} \left(\frac{r}{t_2^p} \right) = 1,2 \cdot 8,8 \cdot 14,2 \cdot \frac{14,25}{6,4} = 333,9 \text{ МПа} \leq f_{yd,2} = 355 \text{ МПа}$$

Прочность второго пояса стенки при толщине листа, равной 7 мм, обеспечена.

3.3 Пояс 3

Для определения $H_{red,3}$ проверяем условия 11.22 и 11.23 СП РК EN 1993-4-2:

$$\frac{H_{red,2}}{f_{yd,2}} = \frac{14,5}{355} = 0,0408 < \frac{H_{red,3}}{f_{yd,3}} = \frac{12,5}{275} = 0,0455$$

где в качестве предварительных приведенных расчетных высот жидкости для рассматриваемых поясов ($H_{red,2}$, $H_{red,3}$) приняты расстояния от верха налива жидкости в резервуаре до низа рассматриваемого пояса (по аналогии с Рисунком 1).

Следовательно $H_{red,3} = H_3 = 12,5 \text{ м}$

По Таблице 3.1 СП РК EN 1993-1-1 для третьего пояса резервуара принимаем сталь S275 с характеристиками $f_{y,3} = 275 \text{ Н/мм}^2$ и $f_{u,3} = 430 \text{ Н/мм}^2$ при толщине проката до 40 мм.

Проектное значение предела текучести стали определяется по Формуле 11.1 СП РК EN 1993-4-2:

$$f_{yd,3} = f_{y,3} / \gamma_{M0} = \frac{275}{1,00} = 275 \text{ Н/мм}^2 = 275 \text{ МПа}$$

где γ_{M0} – принимается с соответствии с Пунктом 2.9.2.2 и Таблицей 2.2 СП РК EN 1993-4-2; $\gamma_{M0} = 1,00$.

Тогда минимальная расчетная толщина стенки для третьего пояса составит:

$$t_3^{тр} = \frac{\gamma_F \rho_g H_{red,3}}{f_{yd,3}} = \frac{14,25 \cdot 1,2 \cdot 8,8 \cdot 12,5}{275} = 6,840 \text{ мм}$$

Принимаем толщину третьего пояса равной ближайшей большей величине проката по ГОСТ 19903-74 с учетом отрицательного предельного отклонения по толщине.

Тогда при толщине листа, равной 8 мм, расчетное значение толщины третьего пояса стенки составит:

$$t_3^p = t + \delta \geq t_3^{тр} = 8 + (-0,8) = 7,2 \text{ мм} > 6,840 \text{ мм}$$

где $t = 8 \text{ мм}$ – номинальное значение толщины проката по ГОСТ 19903-74;

$\delta = -0,8 \text{ мм}$ – предельное отклонение по толщине проката по ГОСТ 19903-74;

Проверка:

$$\gamma_F \rho_g H_{red,3} \left(\frac{r}{t_3^p} \right) = 1,2 \cdot 8,8 \cdot 12,5 \cdot \frac{14,25}{7,2} = 261,3 \text{ МПа} \leq f_{yd,3} = 275 \text{ МПа}$$

Прочность третьего пояса стенки при толщине листа, равной 8 мм, обеспечена.

Конструктивно принимаем толщину второго пояса стенки равной 8 мм, вместо расчетных 7 мм.

3.4 Пояс 4

Для определения $H_{red,4}$ проверяем условия 11.22 и 11.23 СП РК EN 1993-4-2:

$$\frac{H_{red,3}}{f_{yd,3}} = \frac{12,5}{275} = 0,0455 > \frac{H_{red,4}}{f_{yd,4}} = \frac{10,5}{275} = 0,0382$$

где в качестве предварительных приведенных расчетных высот жидкости для рассматриваемых поясов ($H_{red,3}$, $H_{red,4}$) приняты расстояния от верха налива жидкости в резервуаре до низа рассматриваемого пояса (по аналогии с Рисунком 1).

Следовательно $H_{red,4} = H_4 - \Delta H = 10,5 - 0,3 = 10,2$ м

По Таблице 3.1 СП РК EN 1993-1-1 для четвертого пояса резервуара принимаем сталь S275 с характеристиками $f_{y,4} = 275 \text{ Н/мм}^2$ и $f_{u,4} = 430 \text{ Н/мм}^2$ при толщине проката до 40 мм.

Проектное значение предела текучести стали определяется по Формуле 11.1 СП РК EN 1993-4-2:

$$f_{yd,4} = f_{y,4} / \gamma_{M0} = \frac{275}{1,00} = 275 \text{ Н/мм}^2 = 275 \text{ МПа}$$

где γ_{M0} – принимается с соответствии с Пунктом 2.9.2.2 и Таблицей 2.2 СП РК EN 1993-4-2; $\gamma_{M0} = 1,00$.

Тогда минимальная расчетная толщина стенки для четвертого пояса составит:

$$t_4^{тр} = \frac{\gamma_F \rho_g H_{red,4}}{f_{yd,4}} = \frac{14,25 \cdot 1,2 \cdot 8,8 \cdot 10,2}{275} = 5,581 \text{ мм}$$

Принимаем толщину четвертого пояса равной ближайшей большей величине проката по ГОСТ 19903-74 с учетом отрицательного предельного отклонения по толщине.

Тогда при толщине листа, равной 6,5 мм, расчетное значение толщины четвертого пояса

стенки составит:

$$t_4^p = t + \delta \geq t_4^{tp} = 6,5 + (-0,5) = 6 \text{ мм} > 5,581 \text{ мм}$$

где $t = 6,5 \text{ мм}$ – номинальное значение толщины проката по ГОСТ 19903-74;

$\delta = -0,5 \text{ мм}$ – предельное отклонение по толщине проката по ГОСТ 19903-74;

Проверка:

$$\gamma_F \rho_g H_{red,4} \left(\frac{r}{t_4^p} \right) = 1,2 \cdot 8,8 \cdot 10,2 \cdot \frac{14,25}{6} = 255,8 \text{ МПа} \leq f_{yd,4} = 275 \text{ МПа}$$

Прочность четвертого пояса стенки при толщине листа, равной 6,5 мм, обеспечена.

3.5 Пояс 5

Для определения $H_{red,5}$ проверяем условия 11.22 и 11.23 СП РК EN 1993-4-2:

$$\frac{H_{red,4}}{f_{yd,4}} = \frac{10,5}{275} = 0,0382 > \frac{H_{red,5}}{f_{yd,5}} = \frac{8,5}{275} = 0,0309$$

где в качестве предварительных приведенных расчетных высот жидкости для рассматриваемых поясов ($H_{red,4}$, $H_{red,5}$) приняты расстояния от верха налива жидкости в резервуаре до низа рассматриваемого пояса (по аналогии с Рисунком 1).

Следовательно $H_{red,5} = H_5 - \Delta H = 8,5 - 0,3 = 8,2 \text{ м}$

По Таблице 3.1 СП РК EN 1993-1-1 для пятого пояса резервуара принимаем сталь S275 с характеристиками $f_{y,5} = 275 \text{ Н/мм}^2$ и $f_{u,5} = 430 \text{ Н/мм}^2$ при толщине проката до 40 мм.

Проектное значение предела текучести стали определяется по Формуле 11.1 СП РК EN 1993-4-2:

$$f_{yd,5} = f_{y,5} / \gamma_{M0} = \frac{275}{1,00} = 275 \text{ Н/мм}^2 = 275 \text{ МПа}$$

где γ_{M0} – принимается с соответствии с Пунктом 2.9.2.2 и Таблицей 2.2 СП РК EN 1993-4-2; $\gamma_{M0} = 1,00$.

Тогда минимальная расчетная толщина стенки для пятого пояса составит:

$$t_5^{tp} = \frac{\gamma_F \rho_g H_{red,5}}{f_{yd,5}} = \frac{14,25 \cdot 1,2 \cdot 8,8 \cdot 8,2}{275} = 4,487 \text{ мм}$$

Принимаем толщину пятого пояса равной ближайшей большей величине проката по ГОСТ 19903-74 с учетом отрицательного предельного отклонения по толщине.

Тогда при толщине листа, равной 5 мм, расчетное значение толщины пятого пояса стенки составит:

$$t_5^p = t + \delta \geq t_5^{tp} = 5 + (-0,31) = 4,69 \text{ мм} > 4,487 \text{ мм}$$

где $t = 5 \text{ мм}$ – номинальное значение толщины проката по ГОСТ 19903-74;

$\delta = -0,31 \text{ мм}$ – предельное отклонение по толщине проката по ГОСТ 19903-74;

Проверка:

$$\gamma_F \rho_g H_{red,5} \left(\frac{r}{t_5^p} \right) = 1,2 \cdot 8,8 \cdot 8,2 \cdot \frac{14,25}{4,69} = 263,1 \text{ МПа} \leq f_{yd,5} = 275 \text{ МПа}$$

Прочность пятого пояса стенки при толщине листа, равной 5 мм, обеспечена.

3.6 Пояс 6

Для определения $H_{red,6}$ проверяем условия 11.22 и 11.23 СП РК EN 1993-4-2:

$$\frac{H_{red,5}}{f_{yd,5}} = \frac{8,5}{275} = 0,0309 > \frac{H_{red,6}}{f_{yd,6}} = \frac{6,5}{275} = 0,0236$$

где в качестве предварительных приведенных расчетных высот жидкости для рассматриваемых поясов ($H_{red,5}$, $H_{red,6}$) приняты расстояния от верха налива жидкости в резервуаре до низа рассматриваемого пояса (по аналогии с Рисунком 1).

Следовательно $H_{red,6} = H_6 - \Delta H = 6,5 - 0,3 = 6,2 \text{ м}$

По Таблице 3.1 СП РК EN 1993-1-1 для шестого пояса резервуара принимаем сталь S275 с характеристиками $f_{y,6} = 275 \text{ Н/мм}^2$ и $f_{u,6} = 430 \text{ Н/мм}^2$ при толщине проката до 40 мм.

Проектное значение предела текучести стали определяется по Формуле 11.1 СП РК EN 1993-4-2:

$$f_{yd,6} = f_{y,6} / \gamma_{M0} = \frac{275}{1,00} = 275 \text{ Н/мм}^2 = 275 \text{ МПа}$$

где γ_{M0} – принимается с соответствии с Пунктом 2.9.2.2 и Таблицей 2.2 СП РК EN 1993-4-2; $\gamma_{M0} = 1,00$.

Тогда минимальная расчетная толщина стенки для шестого пояса составит:

$$t_6^{tp} = \frac{\gamma_F \rho_g H_{red,6}}{f_{yd,6}} = \frac{14,25 \cdot 1,2 \cdot 8,8 \cdot 6,2}{275} = 3,393 \text{ мм}$$

Принимаем толщину шестого пояса равной ближайшей большей величине проката по ГОСТ 19903-74 с учетом отрицательного предельного отклонения по толщине.

Условно в данном примере принимаем минимально допустимую толщину пояса 5 мм. При реальном проектировании значение минимально допустимой толщины пояса определяется на основании требований EN 1990, EN 1993, а так же других действующих на тот момент нормативных документов, используемых в процессе проектирования резервуаров.

Тогда при толщине листа, равной 5 мм, расчетное значение толщины шестого пояса стенки составит:

$$t_6^p = t + \delta \geq t_6^{tp} = 5 + (-0,31) = 4,69 \text{ мм} > 3,393 \text{ мм}$$

где $t = 5 \text{ мм}$ – номинальное значение толщины проката по ГОСТ 19903-74;

$\delta = -0,31 \text{ мм}$ – предельное отклонение по толщине проката по ГОСТ 19903-74;

Проверка:

$$\gamma_F \rho_g H_{red,6} \left(\frac{r}{t_6^p} \right) = 1,2 \cdot 8,8 \cdot 6,2 \cdot \frac{14,25}{4,69} = 198,0 \text{ МПа} \leq f_{yd,6} = 275 \text{ МПа}$$

Прочность шестого пояса стенки при толщине листа, равной 5 мм, обеспечена.

3.7 Пояс 7

Для определения $H_{red,7}$ проверяем условия 11.22 и 11.23 СП РК EN 1993-4-2:

$$\frac{H_{red,6}}{f_{yd,6}} = \frac{6,5}{275} = 0,0236 > \frac{H_{red,7}}{f_{yd,7}} = \frac{4,5}{235} = 0,0191$$

где в качестве предварительных приведенных расчетных высот жидкости для рассматриваемых поясов ($H_{red,6}$, $H_{red,7}$) приняты расстояния от верха налива жидкости в резервуаре до низа рассматриваемого пояса (по аналогии с Рисунком 1).

Следовательно $H_{red,7} = H_7 - \Delta H = 4,5 - 0,3 = 4,2 \text{ м}$

По Таблице 3.1 СП РК EN 1993-1-1 для седьмого пояса резервуара принимаем сталь S235 с характеристиками $f_{y,7} = 235 \text{ Н/мм}^2$ и $f_{u,7} = 360 \text{ Н/мм}^2$ при толщине проката до 40 мм.

Проектное значение предела текучести стали определяется по Формуле 11.1 СП РК EN 1993-4-2:

$$f_{yd,7} = f_{y,7} / \gamma_{M0} = \frac{235}{1,00} = 235 \text{ Н/мм}^2 = 235 \text{ МПа}$$

где γ_{M0} – принимается с соответствии с Пунктом 2.9.2.2 и Таблицей 2.2 СП РК EN 1993-4-2; $\gamma_{M0} = 1,00$.

Тогда минимальная расчетная толщина стенки для седьмого пояса составит:

$$t_7^{tp} = \frac{\gamma_F \rho_g H_{red,7}}{f_{yd,7}} = \frac{14,25 \cdot 1,2 \cdot 8,8 \cdot 4,2}{235} = 2,689 \text{ мм}$$

Принимаем толщину седьмого пояса равной ближайшей большей величине проката по ГОСТ

19903-74 с учетом отрицательного предельного отклонения по толщине.

Условно в данном примере принимаем минимально допустимую толщину пояса 5 мм. При реальном проектировании значение минимально допустимой толщины пояса определяется на основании требований EN 1990, EN 1993, а так же других действующих на тот момент нормативных документов, используемых в процессе проектирования резервуаров.

Тогда при толщине листа, равной 5 мм, расчетное значение толщины седьмого пояса стенки составит:

$$t_7^p = t + \delta \geq t_7^{TP} = 5 + (-0,31) = 4,69 \text{ мм} > 2,689 \text{ мм}$$

где $t = 5 \text{ мм}$ – номинальное значение толщины проката по ГОСТ 19903-74;

$\delta = -0,31 \text{ мм}$ – предельное отклонение по толщине проката по ГОСТ 19903-74;

Проверка:

$$\gamma_F \rho_g H_{red,7} \left(\frac{r}{t_7^p} \right) = 1,2 \cdot 8,8 \cdot 4,2 \cdot \frac{14,25}{4,69} = 134,8 \text{ МПа} \leq f_{yd,7} = 235 \text{ МПа}$$

Прочность седьмого пояса стенки при толщине листа равной 5 мм обеспечена.

Учитывая, что восьмой и девятый пояса выполнены из той же стали, что и седьмой пояс, а гидростатическое давление, действующее на них меньше, принимаем конструктивно их толщину равной 5 мм, как условно допустимую минимальную толщину стенки для данного примера.

11.3.2 Кольцевые ребра жесткости

11.3.2.1 При наличии стационарной крыши с каркасной несущей конструкцией такая конструкция может рассматриваться как обеспечивающая пространственную жесткость верха оболочки. В этом случае возможно не устанавливать в уровне верха оболочки кольцевое ребро жесткости.

11.3.2.2 В случае, если верх оболочки свободный (не закреплен), обязательно использование кольцевого ребра жесткости, которое должно быть установлено или непосредственно в уровне или как можно ближе к верху оболочки – т.н. «главное кольцевое ребро» (primary ring).

ПРИМЕЧАНИЕ В тексте EN 1993-4-2 главное кольцевое ребро жесткости (primary ring) может еще обозначаться как главная (основная) ветровая ферма (primary wind girder).

11.3.2.3 Если низ оболочки надежно закреплен (заанкерен) от возможных вертикальных перемещений, то главное кольцевое ребро может быть рассчитано на соответствие требованиям прочности и устойчивости согласно указаниям Пунктов (12)...(14) Раздела 5.3.2.5 СП РК EN 1993-4-1.

11.3.2.4 При недостаточном закреплении низа оболочки от возможных вертикальных перемещений необходимо выполнение дополнительного расчета на устойчивость согласно указаний СП РК EN 193-1-6.

11.3.2.5 При расположении кольцевого ребра жесткости на расстоянии более 600 мм от верха оболочки необходимо в уровне верха оболочки установить кольцевой элемент из уголка:

- 60х60х5 – при толщине верхнего пояса менее 6 мм;
- 80х80х6 – при толщине верхнего пояса 6 мм и более.

При этом в обоих случаях расстояние от горизонтальной полки уголка до верха оболочки не должно превышать 25 мм.

11.3.2.6 Необходимость установки дополнительных кольцевых ребер жесткости (Примечание дополнительно к главному кольцевому ребру жесткости) для предотвращения местной потери устойчивости оболочки определяется с использованием приведенного ниже подхода. Высота участка оболочки, который может потерять устойчивость (отсчитываемый от верха оболочки или главного кольцевого ребра жесткости вниз) определяется по Формуле (11.24):

$$H_E = \sum h \left(\frac{t_{\min}}{t} \right)^{2,5} \quad (11.24)$$

где h – высота каждого пояса поочередно ниже уровня кольцевого элемента из уголка (в уровне верха оболочки) или главного кольцевого ребра жесткости;

t – толщина каждого пояса стенки поочередно;

$t_{\min}$ – толщина наиболее тонкого пояса.

11.3.2.7 Высота стенки, при которой устойчивость стенки обеспечена без установки дополнительных кольцевых ребер жесткости, определяется по Формуле (11.25):

$$H_p = 0,46 \left(\frac{E}{p_{Ed}} \right) \left(\frac{t_{\min}}{r} \right)^{2,5} rK \quad (11.25)$$

где

– если меридиональное напряжение $\sigma_{x,Ed}$ положительное (растягивающее)

$$K = 1 \quad (11.26)$$

– если меридиональное напряжение $\sigma_{x,Ed}$ отрицательное (сжимающее)

$$K = \left\{ 1 - \left[2,67 \left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{E} \right) \left(\frac{r}{t} \right) \left(1 + \frac{1}{54} \left(\frac{r}{t} \right)^{0,72} \right)^{1,25} \right]^{0,8} \right\} \quad (11.27)$$

p_{Ed} – максимальное проектное значение внутреннего давления на оболочку (внешнее давление, отрицательное (направленное внутрь) внутреннее давление);

(r/t) – отношение взято на том же участке, что и проектное значение сжимающего осевого мембранного напряжения $\sigma_{x,Ed}$.

ПРИМЕЧАНИЕ Приведенные выше Формулы (11.24)...(11.27) иногда (особенно при невысоких поясах) могут давать результаты в запас. В этом случае для получения более экономичного результата могут использоваться указания СП РК EN 1993-1-6.

11.3.2.8 При расчете стенки на устойчивость неравномерное приложение ветровой нагрузки $q_{w,Ed}$ на цилиндр (см. Рисунок 11.5) может быть заменено эквивалентной равномерно распределенной нагрузкой, определяемой по Формуле (11.28):

$$q_{eq,Ed} = k_w q_{w,max,Ed} \quad (11.28)$$

где $q_{w,max,Ed}$ – это максимальное давление ветра;

k_w – находится по Формуле (11.29):

$$k_w = 1/C_w \quad (11.29)$$

где C_w – принимается согласно Пункту (8) Раздела 5.3.2.5 СП РК EN 1993-4-1.

11.3.2.9 Значение давления p_{Ed} , используемое в Формуле (11.25), определяется по Формуле (11.30):

$$p_{Ed} = q_{eq,Ed} + q_{s,Ed} \quad (11.30)$$

где $q_{s,Ed}$ – это направленное внутрь давление, вызванное вентиляцией, внутренним частичным вакуумом или другими явлениями.

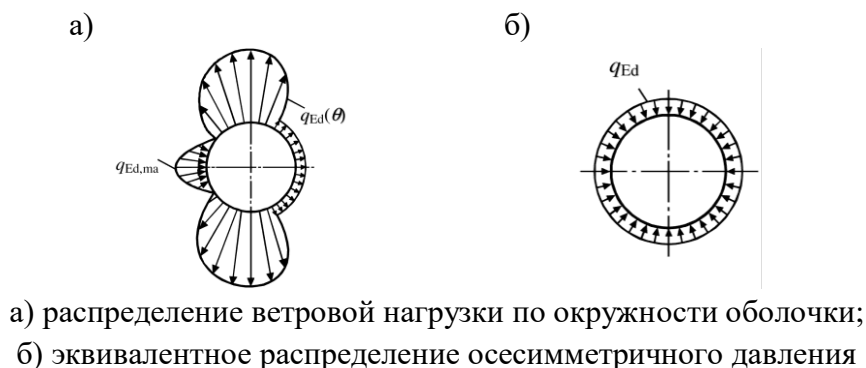


Рисунок 11.5 – Преобразование внешней ветровой нагрузки

11.3.2.10 Если меридиональное напряжение является сжимающим, то подход, описанный в (7) использовать нельзя за исключением случаев, когда выполняются оба условия (11.31) и (11.32):

$$\frac{r}{t} \geq 200 \quad (11.31)$$

$$f_y \geq 1,15E \left(\frac{r}{l} \right) \left(\frac{t}{r} \right)^{1,5} \quad (11.32)$$

где l – высота участка стенки, который может потерять устойчивость; принимается равным меньшему расстоянию из значения H_E или расстояния между соседними кольцевыми ребрами жесткости.

11.3.2.11 Если $H_E \leq H_p$ нет необходимости использовать дополнительные кольцевые ребра.

11.3.2.12 Если $H_E > H_p$, то высота H_E должна быть разделена кольцевыми ребрами жесткости для предотвращения потери устойчивости стенки. Ребра жесткости следует располагать на равном расстоянии друг от друга. Расстояние между ребрами жесткости не должно превышать значения H_p .

Значение K , используемое в Формуле (11.25) для определения H_p , допускается определять отдельно для каждого участка стенки, ограниченного по высоте кольцевыми ребрами жесткости. В этом случае расстояния между соседними кольцевыми ребрами жесткости могут быть разными.

11.3.2.13 Если толщина пояса, к которому крепится нижнее кольцевое ребро жесткости, больше минимально допустимой толщины t_{min} , то расстояние $H_{lower,adj}$, на котором должно размещаться нижнее кольцо от верхнего опорного кольца или главного кольцевого ребра жесткости, необходимо определять по Формуле (11.33):

$$H_{\text{lower,adj}} = H_{\text{tmin}} + (H_{\text{lower}} - H_{\text{tmin}}) \left(\frac{t}{t_{\text{min}}} \right)^{2,5} \quad (11.33)$$

где H_{lower} – расстояние от кольцевого элемента из уголка (в уровне верха оболочки) или главного кольцевого ребра жесткости до рассматриваемого второстепенного ребра жесткости;

H_{tmin} – расстояние от кольцевого элемента из уголка (в уровне верха оболочки) или главного кольцевого ребра жесткости до нижней кромки пояса с минимально допустимой толщиной t_{min} .

11.3.2.14 Расстояние между дополнительными кольцевыми ребрами жесткости и кольцевыми швами (стыками поясов) резервуара должно быть не менее 150 мм.

11.3.2.15 При упрощенном подходе к проектированию (если не используется более подробный расчет согласно указаниям СП РК EN 1993-1-6) жесткость второстепенных кольцевых ребер жесткости должна отвечать условию (11.34):

$$I_{R,j} \geq 2 \frac{N_{Rj,Ed} r^2}{E m_B^2} \quad (11.34)$$

где

$$N_{Rj,Ed} = \frac{p_{j,Ed} r (a_{j+1} + a_j)}{2} \quad (11.35)$$

$$m_B^* = 1,79 \left\{ \frac{r}{H \left[\frac{r^2 \min(a_j t_j)}{\max(I_{R,j})} \right]^{1/4}} \right\}^{1/2} \quad (11.36)$$

m_B – принимается равным результату округления m_B^* в меньшую сторону до целого числа;

$I_{R,j}$ – момент инерции сечения второстепенного j – го кольцевого ребра жесткости;

$\max(I_{R,j})$ – максимальное значение $I_{R,j}$ из всех второстепенных кольцевых ребер жесткости;

H – высота от верхнего кольцевого ребра жесткости или карнизного узла до днища;

a_j – расстояние от второстепенного j – го кольцевого ребра жесткости до следующего нижерасположенного второстепенного кольцевого ребра жесткости или до днища резервуара (при отсутствии нижерасположенных второстепенных кольцевых ребер жесткости);

a_{j+1} – расстояние от второстепенного j – го кольцевого ребра жесткости до следующего вышерасположенного второстепенного кольцевого ребра жесткости или до главного кольцевого ребра жесткости или опорного кольцевого элемента в уровне верха оболочки (при отсутствии вышерасположенных второстепенных кольцевых ребер жесткости);

t_j – среднее значение толщины стенки на расстоянии a_j ;

$\min(a_j t_j)$ – минимальное значение $a_j t_j$ вдоль высоты H ;

r – радиус стенки резервуара;

$p_{j,Ed}$ – отрицательное проектное давление в уровне j – го второстепенного кольцевого ребра жесткости.

11.3.3 Отверстия и проемы

11.3.3.1 Отверстия и арматура должны проектироваться в соответствии с Пунктом 5.4.6.

11.4 Проектирование днища

11.4.1 При проектировании днища необходимо учитывать наличие коррозионного износа в процессе эксплуатации.

11.4.2 Стыковка элементов днища должна выполняться встык или внахлестку. Требования к соответствующим видам сварных соединений приведены в EN 14015 и EN 14620.

11.4.3 Толщина листов днища должна приниматься не менее указанной в Таблице 11.1 (значения в Таблице 11.1 приведены без учета допуска на коррозионный износ). Большие значения толщины листов днища используются при наличии внутреннего отрицательного давления, чтобы предотвратить самопроизвольное поднятие днища, если только в конкретной конструкции не используется минимальный гарантируемый остаточный уровень жидкости для пригрузки днища.

11.4.4 При опирании днища резервуара на параллельные балки (поднятое днище) днище можно рассчитывать как неразрезную балку согласно теории малых деформаций. Если деформациями поперечного сечения поддерживающих балок вследствие воздействия горизонтальных нагрузок можно пренебречь вследствие малости этих деформаций (это справедливо для бетонных балок, замкнутых профилей, балок с тяжелыми полками), то в расчете допускается принимать пролет днища между балками равным расстоянию в свету (т.е. расстоянию между полками балок), а не расстоянию в осях поддерживающих балок.

Таблица 11.1 – Минимальная номинальная толщина листов днища

Материал	При нахлесточных сварных швах	При стыковых сварных швах
Углеродистые стали	6 мм	5 мм
Нержавеющие стали	5 мм	3 мм

11.4.5 Для резервуаров диаметром более 12,5 м необходимо предусмотреть наличие опорного кольца в виде кольцевой пластины, сопоставимой с точки зрения прочности и жесткости с нижним поясом стенки резервуара. Толщина опорного кольца (без учета допуска на коррозионный износ) определяется по Формуле (11.37):

$$t_a = \frac{t_s}{3} + 3 \text{ мм, но не менее 6 мм} \quad (11.37)$$

где t_s – толщина нижнего пояса стенки.

ПРИМЕЧАНИЕ 1 Установка данного опорного кольца может привести к формированию пластического шарнира в месте стыка опорного кольца и основного металла днища, что предотвратит развитие пластического шарнира в уторном узле. Однако увеличенная толщина опорного кольца по отношению к остальному днищу может привести к застаиванию жидкости в месте стыка, что может создать потенциальный очаг повышенного коррозионного износа.

ПРИМЕЧАНИЕ 2 В случае наличия локальных нагрузок на днище необходимо предусмотреть возможность распределения (передачи) этих нагрузок на основание.

11.4.6 Внутренний край опорного кольца должен быть удален от стенки на расстояние w , принимаемое не более значения w_a , но не менее 500 мм:

$$w_a = 1,5 \left[\frac{f_y t_a^2}{\rho g H} \right]^{1/2} \quad (11.38)$$

где

H – максимальный проектный уровень налива жидкости;

w_a – минимальная внутренняя ширина опорного кольца днища (расстояние от внутренней кромки опорного кольца до внутренней поверхности стенки);

t_a – принятая толщина опорного кольца с учетом допуска на коррозию;

ρ – плотность хранимой жидкости.

g – ускорение свободного падения.

11.4.7 Радиальные сварные швы крепления кольцевых пластин должны быть выполнены стыковыми с полным проваром согласно EN 14015 и EN 14620.

11.4.8 Расстояние от внешнего края стенки до внешнего края листов днища или опорного кольца днища должно быть не менее 50 мм.

11.4.9 Стык нижнего пояса стенки и днища (уторный узел) должен быть выполнен непрерывным угловым сварным швом с обеих сторон стенки.

11.4.10 Катет каждого сварного шва уторного узла должен быть принят равным толщине примыкающих к стенке элементов днища, но не более 10 мм. В случае, если толщина нижнего пояса стенки меньше, чем толщина соответствующих элементов днища, катет сварного шва не должен превышать значения, указанные в Таблице 11.2.

**Таблица 11.2 – Величина катета сварного шва уторного узла
(при толщине стенки меньшей, чем толщина днища)**

Толщина нижнего пояса стенки, мм	Катет сварного шва, мм
$t < 5$ мм	2,0
$t = 5$ мм	4,5
$t > 5$ мм	6,0

ПРИМЕР 5 Расчет днища резервуара при дискретном опирании на параллельные опоры

1 Исходные данные

Тип хранимой жидкости – бензол.

Удельный вес – $\rho = 8,8 \text{ кН/м}^3$ (Таблица А.10 Приложения А СП РК EN 1991-1-1).

Проектный уровень налива – $H_n = 7,8$ м.

Схема резервуара приведена на Рисунках 1 и 2.

2 Статический расчет

Днище резервуара опирается на балочную клетку из параллельно расположенных балок. При расчете днище можно рассматривать как полосу шириной 1 см, условно вырезанную из днища поперек раскладки балок (см. Рисунки 1, 2). Расчетная схема такой полосы днища имеет вид неразрезной балки (см. Пункт 11.4.4 СП РК EN 1993-4-2), промежуточными опорами которой являются нижерасположенные балки балочной клетки (см. Рисунок 3).

В примере шаг крайних балок составляет 750 мм, средних по 1000 мм. Расчетные пролеты многопролетной неразрезной полосы принимаем равными расстоянию балок в осях в соответствии с Пунктом 11.4.4 СП РК EN 1993-4-2.

Определяем расчетную нагрузку на погонный метр длины вырезанной полосы от действия гидростатического давления бензола согласно указаниям Раздела 7 СП РК EN 1991-4:

$$q = \rho \cdot H_n \cdot b = 8,8 \cdot 7,8 \cdot 0,01 = 0,6864 \frac{\text{кН}}{\text{м}} = 6,864 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кН}}{\text{см}}$$

где $\rho = 8,8 \text{ кН/м}^3$ – удельный вес бензола, хранящегося в резервуаре;

$H_n = 7,8 \text{ м}$ – проектный уровень налива;

$b = 1 \text{ см}$ – ширина условно вырезанной полоски днища (ширина грузовой площади).

Для расчета (определения усилий) данной многопролетной конструкции неразрезной балки можно использовать следующие методы строительной механики:

- а) метод сил;
- б) метод перемещений;
- в) метод конечных элементов (реализованный в программных комплексах, обеспечивающих достоверность получаемых результатов);
- г) метод «трех моментов», как частный случай метода сил.

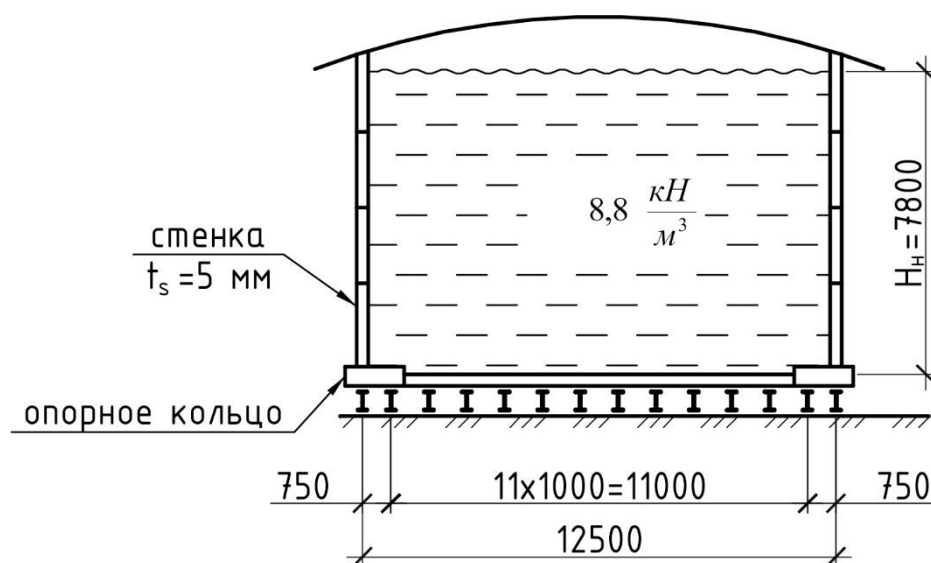


Рисунок 1 – Схема резервуара

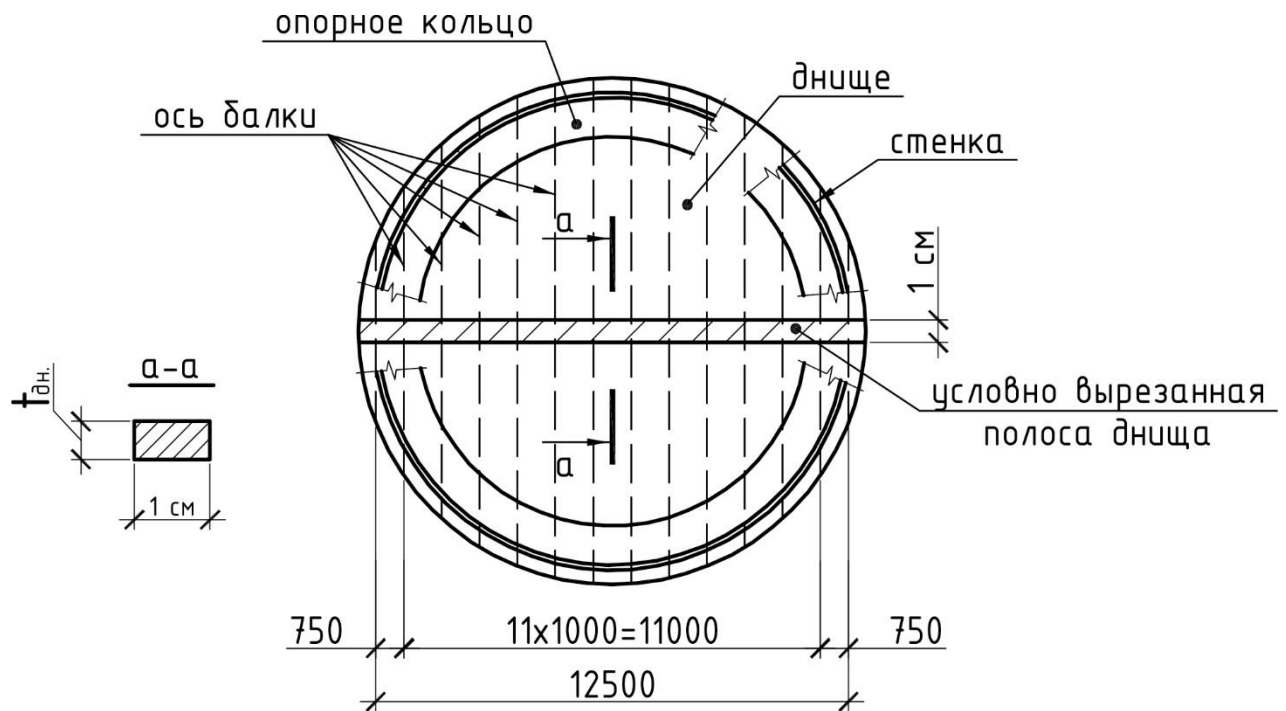


Рисунок 2 – План днища

В данном примере при решении задачи используется метод трех моментов.
Первоначальная расчетная схема днища приведена на Рисунке 3.

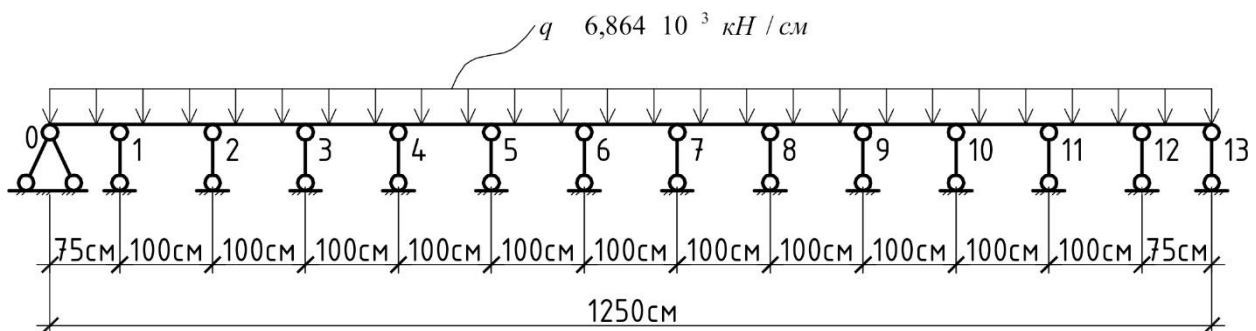


Рисунок 3 – Первоначальная расчетная схема условно вырезанной полосы днища

Определяем степень статической неопределимости неразрезной балки:

$$\eta = C_{\text{оп}} - 3 = 15 - 3 = 12$$

где $C_{\text{оп}} = 2 + 13 \cdot 1 = 15$ – количество опорных реакций системы.

Следовательно, для раскрытия статической неопределимости балки необходимо составить двенадцать уравнений метода сил. Однако, учитывая, что расчетная схема балки и приложенная к ней нагрузка являются симметричными относительно центра балки, рассмотрим половину балки. Тогда необходимо составить всего половину уравнений, то есть 6. Окончательная расчетная схема днища приведена на Рисунке 5.

Для произвольной опоры n уравнение трех моментов имеет вид:

$$M_{n-1} \cdot l_n + 2M_n(l_n + l_{n+1}) + M_{n+1} \cdot l_{n+1} = -6 \left(\frac{\omega_n a_n}{l_n} + \frac{\omega_{n+1} b_{n+1}}{l_{n+1}} \right)$$

здесь ω_n, a_n, b_n – площадь грузовой эпюры и расстояния от центра её тяжести соответственно до левой и правой опоры (см. Рисунок 4).

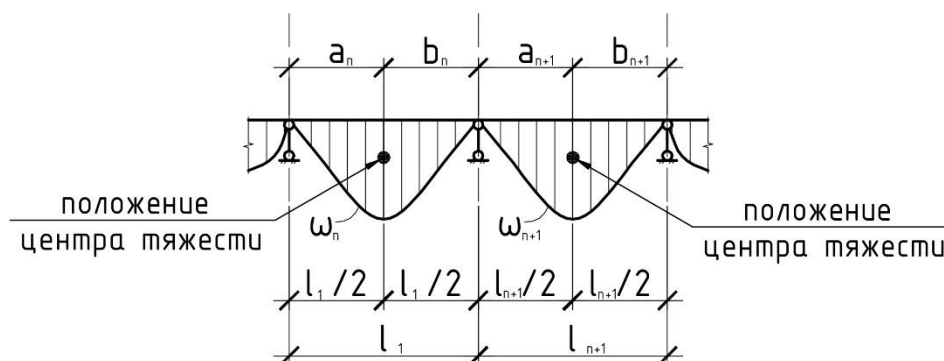


Рисунок 4 – К вычислению правой части уравнения трех моментов.

Для решения задачи нумеруем слева направо опоры неразрезной балки, начиная с нуля, и пролеты. Номер пролета соответствует номеру правой опоры.

В нашем случае известным является момент $M_0 = 0$, неизвестными являются моменты $M_1, M_2, M_3, M_4, M_5, M_6$. Учитывая, что расчетная схема и приложенная к балке нагрузка симметричны, остальные моменты будут зеркально равными данным.

Определяем неизвестные моменты с помощью системы уравнений трех моментов.

$$\begin{cases} M_0 \cdot l_1 + 2M_1(l_1 + l_2) + M_2 \cdot l_2 = -6 \left(\frac{\omega_1 a_1}{l_1} + \frac{\omega_2 b_2}{l_2} \right) \\ M_1 \cdot l_2 + 2M_2(l_2 + l_3) + M_3 \cdot l_3 = -6 \left(\frac{\omega_2 a_2}{l_2} + \frac{\omega_3 b_3}{l_3} \right) \\ M_2 \cdot l_3 + 2M_3(l_3 + l_4) + M_4 \cdot l_4 = -6 \left(\frac{\omega_3 a_3}{l_3} + \frac{\omega_4 b_4}{l_4} \right) \\ M_3 \cdot l_4 + 2M_4(l_4 + l_5) + M_5 \cdot l_5 = -6 \left(\frac{\omega_4 a_4}{l_4} + \frac{\omega_5 b_5}{l_5} \right) \\ M_4 \cdot l_5 + 2M_5(l_5 + l_6) + M_6 \cdot l_6 = -6 \left(\frac{\omega_5 a_5}{l_5} + \frac{\omega_6 b_6}{l_6} \right) \\ M_5 \cdot l_6 + 2M_6(l_6 + l_7) + M_7 \cdot l_7 = -6 \left(\frac{\omega_6 a_6}{l_6} + \frac{\omega_7 b_7}{l_7} \right) \end{cases}$$

Учитывая, что расчетная схема балки и нагрузка симметричны, то $M_6 = M_7$. Отсюда уравнение трех моментов для 6-ой опоры будет иметь вид:

$$M_5 \cdot l_6 + M_6(2 \cdot l_6 + 3 \cdot l_7) = -6 \left(\frac{\omega_6 a_6}{l_6} + \frac{\omega_7 b_7}{l_7} \right)$$

Для вычисления правых частей уравнений системы строим грузовую эпюру M_p (см. Рисунок 5). Центры тяжести площадей грузовой эпюры M_p находятся посередине соответствующих пролетов. Тогда:

$$\begin{aligned} \omega_1 a_1 &= \frac{q \cdot l_1^3}{12} \cdot \frac{l_1}{2} = \frac{6,864 \cdot 10^{-3} \cdot 75^3}{12} \cdot \frac{75}{2} = 9049,22 \\ \omega_2 b_2 &= \frac{q \cdot l_2^3}{12} \cdot \frac{l_2}{2} = \frac{6,864 \cdot 10^{-3} \cdot 100^3}{12} \cdot \frac{100}{2} = 28600 \end{aligned}$$

Учитывая, что для следующих участков шаг опор и нагрузка являются постоянными, то:

$$\begin{aligned} \omega_2 a_2 &= \omega_3 b_3 = \omega_3 a_3 = \omega_4 b_4 = \omega_4 a_4 = \omega_5 b_5 = \omega_5 a_5 = \omega_6 b_6 = \omega_6 a_6 = \omega_7 b_7 = \\ &= \frac{q \cdot l_2^3}{12} \cdot \frac{l_2}{2} = \frac{6,864 \cdot 10^{-3} \cdot 100^3}{12} \cdot \frac{100}{2} = 28600 \end{aligned}$$

Подставляя найденные значения в систему уравнений, получаем:

$$\begin{cases} 350 \cdot M_1 + 100 \cdot M_2 = -2439,94 \\ 100 \cdot M_1 + 400 \cdot M_2 + 100 \cdot M_3 = -3432 \\ 100 \cdot M_2 + 400 \cdot M_3 + 100 \cdot M_4 = -3432 \\ 100 \cdot M_3 + 400 \cdot M_4 + 100 \cdot M_5 = -3432 \\ 100 \cdot M_4 + 400 \cdot M_5 + 100 \cdot M_6 = -3432 \\ 100 \cdot M_5 + 500 \cdot M_6 = -3432 \end{cases}$$

Решая эту систему, получим:

$$M_1 = 5,305 \text{ кН} \cdot \text{см}; M_2 = 5,831 \text{ кН} \cdot \text{см}; M_3 = 5,69 \text{ кН} \cdot \text{см};$$

$$M_4 = 5,728 \text{ кН} \cdot \text{см}; M_5 = 5,718 \text{ кН} \cdot \text{см}; M_6 = 5,72 \text{ кН} \cdot \text{см};$$

Построив эпюру опорных моментов (на Рисунке 5 показана Пунктиром) и алгебраически складывая её с грузовой, получаем окончательную эпюру моментов $M = M_p + M_{оп}$ (см. Рисунок 5).

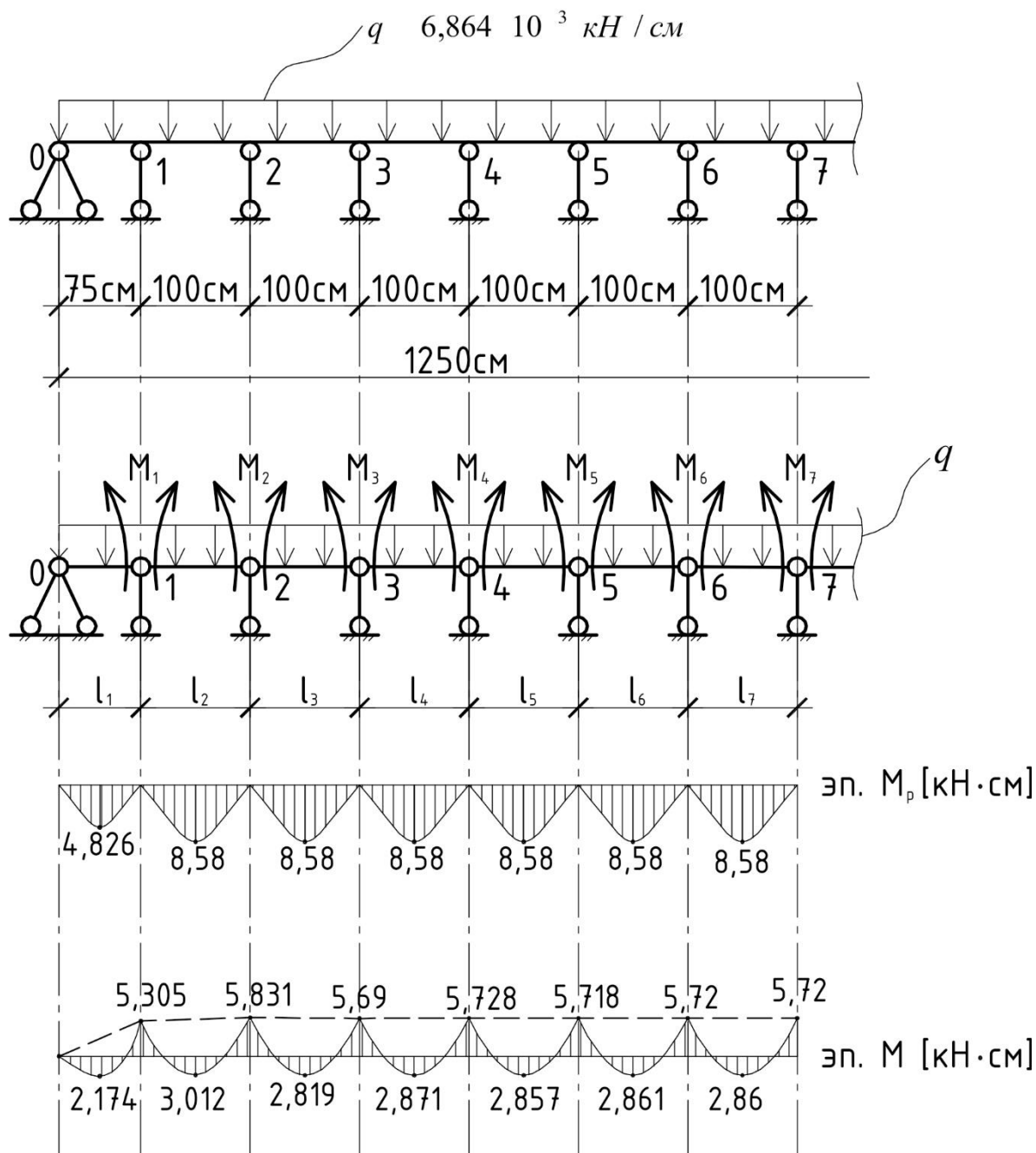


Рисунок 5 – Изгибающие моменты в днище резервуара

3 Подбор сечений конструктивных элементов днища

Определение минимальной необходимой толщины днища как изгибаемого элемента

НТП РК 03-04-2.1-2012

производится из условия прочности по Формуле 6.12 СП РК EN 1993-1-1:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1,0$$

где $M_{Ed} = M_2 = 5,831 \text{ кН} \cdot \text{см}$ – максимальный расчетный момент из статического расчета;

$M_{c,Rd}$ – расчётная несущая способность при изгибе относительно одной из главных осей поперечного сечения, которая определяется по Формулам 6.13...6.15 СП РК EN 1993-1-1 в зависимости от принятого класса поперечного сечения.

Класс поперечного сечения определяется согласно указаниям Пункта 5.5.2 СП РК EN 1993-1-1. Принимаем в Примере 3 класс поперечного сечения, для которого расчётная несущая способность при изгибе $M_{c,Rd}$ определяется по Формуле 6.14 СП РК EN 1993-1-1:

$$M_{c,Rd} = M_{el,Rd} = \frac{W_{el,min} f_y}{\gamma_{M0}}$$

где $W_{el,min}$ – момент сопротивления сечения для волокон с максимальным напряжением, не превышающим предел упругости;

f_y – характеристическое значение предела текучести стали;

γ_{M0} – частный коэффициент надежности, принимается с соответствии с Пунктом 2.9.2.2 СП РК EN 1993-4-2; $\gamma_{M0} = 1,00$.

По Таблице 3.1 СП РК EN 1993-1-1 для резервуара принимаем сталь S235 с характеристиками $f_y = 235 \text{ Н/мм}^2$ и $f_u = 360 \text{ Н/мм}^2$ при толщине проката до 40 мм.

Определим требуемый момент сопротивления из условия предельного состояния, при котором $M_{c,Rd} = M_{Ed}$:

$$W_{el,min}^{tr} = \frac{M_{c,Rd} \cdot \gamma_{M0}}{f_y} = \frac{M_{Ed} \cdot \gamma_{M0}}{f_y}$$

Учитывая, что для прямоугольного сечения

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{b \cdot t_{дн}^2}{6}$$

где $t_{дн}$ – толщина днища;

$b = 1 \text{ см}$ – ширина условно вырезанной полосы днища (ширина рассматриваемого сечения);

Получаем:

$$t_{дн}^{tr} = \sqrt{\frac{6 \cdot M_{Ed} \cdot \gamma_{M0}}{b \cdot f_y}} = \sqrt{\frac{6 \cdot 5,831 \cdot 1,0}{1 \cdot 235}} = 1,22 \text{ см} = 12,2 \text{ мм};$$

Принимаем толщину днища равную ближайшей большей толщине проката по ГОСТ 19903-74 с учетом отрицательного предельного отклонения по толщине.

Тогда при толщине листа равной 13,5 мм расчетное значение толщины днища составит:

$$t_{дн}^p = t + \delta \geq t_{дн}^{tr} = 13,5 + (-0,8) = 12,7 \text{ мм} > 12,2 \text{ мм}$$

где $t = 13,5 \text{ мм}$ – номинальное значение толщины проката по ГОСТ 19903-74;

$\delta = -0,8 \text{ мм}$ – предельное отклонение по толщине проката по ГОСТ 19903-74;

Выполним проверку по прочности по Формуле 6.12 СП РК EN 1993-1-1

$$\begin{aligned} W_{el,min} &= \frac{b \cdot t_{дн}^2}{6} = \frac{1 \cdot 1,35^2}{6} = 0,3038 \text{ см}^3 \\ M_{c,Rd} = M_{el,Rd} &= \frac{W_{el,min} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,3038 \cdot 235}{1} = 71,393 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2} = 7,14 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} \\ \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} &= \frac{5,831}{7,14} = 0,8167 < 1,0 \end{aligned}$$

Прочность днища при толщине листа, равной 13,5 мм, обеспечена.

Окончательно принимаем толщину днища равной $t_{дн} = 13,5 \text{ мм}$, учитывая, что минимально

допустимая толщина днища (при выполнении из углеродистой стали и при нахлесточных сварных швах) в соответствии с Таблицей 11.1 СП РК EN 1993-4-2 составляет 6 мм.

При наличии оговоренных допусков на коррозионный износ значения этих допусков необходимо учитывать при определении окончательной толщины плиты днища. В данном примере влияние коррозионного износа при определении толщины днища не учитывалось.

Учитывая, что диаметр резервуара составляет 12,5 м, необходимо предусмотреть наличие опорного кольца. Определяем толщину опорного кольца из условия 11.37 СП РК EN 1993-4-2:

$$t_a \geq \begin{cases} \frac{t_s}{3} + 3 \text{ мм} = \frac{5}{3} + 3 = 4,7 \text{ мм} \\ 6 \text{ мм} \end{cases}$$

где $t_s = 5$ мм – толщина нижнего пояса стенки;

Принимаем толщину опорного кольца 6 мм.

Ширина опорного кольца определяется в соответствии с указаниями Пунктов 11.4.6 и 11.4.8 СП РК EN 1993-4-2.

Ширина внутренней части опорного кольца ω , равная расстоянию от внутренней поверхности стенки до внутренней грани опорного кольца, определяется согласно Пункту 11.4.6 СП РК EN 1993-4-2 по Формуле 11.38:

$$\omega = \begin{cases} \left\{ \sum \left(\sum w_a = 1,5 \left[\frac{f_y t_a^2}{\rho g H} \right]^{1/2} \right. \right. \\ \left. \left. \sum \left(\sum \left(\sum 500 \left(\left[\frac{f_y t_a^2}{\rho g H} \right]^{1/2} = 1,5 \left[\frac{235 \cdot 6^2}{8,8 \cdot 9,81 \cdot 7,8} \right]^{1/2} = 0,15 \text{ м} \right. \right. \right. \right. \right. \end{cases}$$

Принимаем ширину внутренней части опорного кольца $\omega = 500$ мм.

Расстояние от внешнего края стенки до внешнего края листов днища принимаем равным 50 мм в соответствии с Пунктом 11.4.8 СП РК EN 1993-4-2.

Учитывая, что толщина нижнего пояса стенки ($t_s = 5$ мм) меньше, чем толщина соответствующих элементов днища ($t_{\text{оп.кольца}} = 6$ мм), принимаем катет сварного шва уторного узла в соответствии с Таблицей 11.2 СП РК EN 1993-4-2 равным 4,5 мм.

11.5 Анкерное крепление резервуара

11.5.1 Для резервуаров с стационарной крышей анкерное крепление не требуется, если при возможном отрыве стенки и днища от основания выполняется любое из следующих условий:

а) Поднятие пустого резервуара из-за внутреннего проектного давления уравнивается совместным весом с учетом возможного коррозионного износа крыши, стенки и других постоянно установленных конструкций;

б) Поднятие резервуара вследствие действия внутреннего проектного давления и ветровой нагрузки уравнивается совместным весом с учетом возможного коррозионного износа крыши, стенки и других постоянно установленных конструкций, а также весом хранимого продукта, который постоянно присутствует в резервуаре (данный момент согласовывается между проектировщиком, заказчиком и соответствующим контролирующим органом);

в) Поднятие пустого резервуара вследствие воздействия ветровой нагрузки уравнивается совместным весом с учетом возможного коррозионного износа крыши, стенки и других постоянно установленных конструкций;

г) Поднятие пустого резервуара вследствие внешнего затопления (наводнения) В этом случае при расчете анкерного крепления необходимо также оценивать влияние внешних воздействий на днище и стенку резервуара.

В случае (г) расчет возможного поднятия резервуара из-за ветрового воздействия необходимо выполнять для резервуара в целом, рассматривая его как единую конструкцию с неизменяемым поперечным сечением (с использованием балочной теории). Подразумевается, что в этом случае происходит подъем резервуара как единой жесткой конструкции. В случае, когда подъем резервуара не допускается, необходимо производить дополнительные расчеты.

11.5.2 Точки анкерного крепления должны быть на равном расстоянии вокруг окружности резервуара настолько, насколько это возможно.

11.5.3 Конструкция анкерных болтов или крепежных планок должна отвечать требованиям EN 1993-1-1. Минимальная площадь поперечного сечения для анкерных болтов или крепежных планок должна быть 500 мм². Если предполагается коррозия, должен быть добавлен минимальный коррозионный допуск 1 мм.

11.5.4 Анкеры должны быть закреплены к стенке резервуара. Не допускается производить анкерное крепление только отдельно днища.

11.5.5 Конструкция анкеров должна учитывать возможные деформации и перемещения резервуара, вызванные температурным и гидростатическим воздействием, с целью минимизации воздействия на оболочку (стенку).

11.5.6 Учет дополнительных усилий, возникающих в оболочке (стенке) от воздействия анкерного закрепления, производится согласно требованиям Пунктов 5.4.6 и 5.4.7 СП РК EN 1993-4-1.

11.5.7 Не допускается рассчитывать и конструировать анкерные болты и крепежные планки (включая случаи предварительного натяжения) с целью включения их в работу только в случае возникновения подъемной силы.

ПРИМЕЧАНИЕ Если анкерные болты или планки не являются предварительно натянутыми, то при ветровой нагрузке максимальные подъемные усилия в них будут уменьшаться. Это же касается и усилий в них от возможных деформаций и перемещений от температурных и гидростатических воздействий.

Приложение А
(обязательное)

Воздействия на резервуары

А.1 Общие положения

А.1.1 При проектировании необходимо учитывать характеристические значения нагрузок и воздействий, приведенные в Пунктах А.2.1...А.2.14.

А.1.2 Для характеристических значений, оговоренных в Пункте (1), в расчете необходимо учитывать частный коэффициенты надежности по нагрузке согласно Пункту 2.9.2.1 и и для комбинаций нагрузок (воздействий) согласно Пункту 2.10.

А.2 Воздействия и нагрузки

А.2.1 Нагрузки от жидкости (гидростатические нагрузки)

А.2.1.1 Значение гидростатической нагрузки в процессе эксплуатации варьируется от максимального значения (при проектном уровне налива резервуара) до нуля (при опорожненном резервуаре).

А.2.1.2 При проведении испытания нагрузка от используемой при испытании жидкости должна варьироваться от максимального значения (при максимального уровня налива резервуара, определенном с учетом испытательной жидкости) до нуля (при опорожненном резервуаре).

А.2.1.3 Гидростатическая нагрузка рассчитывается согласно указаниям Раздела 7 СП РК EN 1991-4. Характеристическое значение давления жидкости определяется по Формуле 7.1 СП РК EN 1991-4:

$$p(z) = \gamma z \quad (A.1)$$

где z – глубина под поверхностью жидкости;

γ – удельный вес хранимой жидкости; принимается по Приложению А (Таблица А.10) СП РК EN 1991-1-1.

А.2.2 Нагрузка от внутреннего давления

А.2.2.1 Значение нагрузки от внутреннего (избыточного) давления в процессе эксплуатации варьируется от минимального до максимального значения внутреннего давления.

А.2.2.2 При проведении испытания нагрузка от внутреннего (избыточного) давления должна варьироваться от минимального до максимального значения испытательного внутреннего давления.

А.2.2.3 Нагрузка от внутреннего (избыточного) давления должна быть оговорена в Техническом задании на проектирование.

А.2.3 Температурные воздействия

А.2.3.1 Напряжения в результате сопротивления тепловому расширению могут быть проигнорированы, если число циклов нагрузки от температурных воздействий такое, что нет риска усталостного разрушения или циклического пластического разрушения.

А.2.3.2 Необходимость учета температурных воздействий должна определяться Техническим заданием на проектирование, в котором должен быть оговорен один из двух вариантов:

а) непосредственно необходимость учета или игнорирования температурных нагрузок;

б) непосредственно или опосредовано задано количество циклов температурных воздействий, на основании чего определяется возможность усталостного разрушения и оценивается необходимость учета температурных нагрузок в расчете (см. Пункт А.2.3).

А.2.4 Нагрузки от собственного веса

А.2.4.1 Собственный вес резервуара должен рассматриваться как суммарный вес всех составных частей резервуара и всех компонентов, постоянно прикрепленных к резервуару. Согласно Пункта 5.1 (4) EN 1991-1-1 в нагрузках от собственного веса (кроме собственного веса строительных конструкций резервуара) должны также учитываться собственный вес вспомогательных конструкций и технологического оборудования, постоянно закрепленного к резервуару.

А.2.4.2 Числовые значения должны быть взяты из СП РК EN 1991-1-1.

А.2.5 Нагрузки от изоляции

А.2.5.1 Данные нагрузки подразумевают под собой нагрузки от изоляционных материалов, применяемых в рассматриваемом резервуаре.

А.2.5.2 Числовые значения должны быть взяты из СП РК EN 1991-1-1.

А.2.6 Распределенная временная нагрузка

А.2.6.1 Распределенная временная нагрузка должна быть взята из EN 1991-1-1, если не указано иное.

А.2.7 Сосредоточенная временная нагрузка

А.2.7.1 Сосредоточенная временная нагрузка должна быть взята из СП РК EN 1991-1-1, если не указано иное.

А.2.8 Снеговая нагрузка

А.2.8.1 Нагрузки должны быть взяты из СП РК EN 1991-1-3.

А.2.9 Ветровая нагрузка

А.2.9.1 Нагрузки должны быть взяты из СП РК EN 1991-1-4.

А.2.9.2 Кроме того, следующие коэффициенты давления могут быть использованы для круговых цилиндрических резервуаров, см. Рисунок А.1:

а) коэффициент давления на внутреннюю поверхность открытого резервуара и внутреннюю поверхность открытого приемного резервуара: $c_p = -0,6$;

б) коэффициент давления на внутреннюю поверхность резервуара имеющего небольшие вентиляционные отверстия: $c_p = -0,4$.

в) для резервуаров с защитной стенкой внешнее давление на стенку резервуара может быть принято уменьшающимся линейно по высоте.

А.2.9.3 Из-за их временного характера, уменьшенная ветровая нагрузка может быть использована для ситуаций возведения согласно EN 1991-1-4.

А.2.10 Вакуум

А.2.10.1 Нагрузки должны быть взяты из СП РК EN 1991-1-4.

А.2.10.2 Нагрузка от вакуума согласно указаниям Раздела 7 СП РК EN 1991-4 определяется при помощи специального расчета, который не является предметом Еврокодов. Нагрузка от вакуума должна быть оговорена в Техническом задании на проектирование.

А.2.11 Сейсмические нагрузки

А.2.11.1 Нагрузки должны быть взяты из СП РК EN 1998-4, в котором также указаны требования по проектированию сейсмостойких конструкций.

А.2.12 Нагрузки от оборудования и осадки

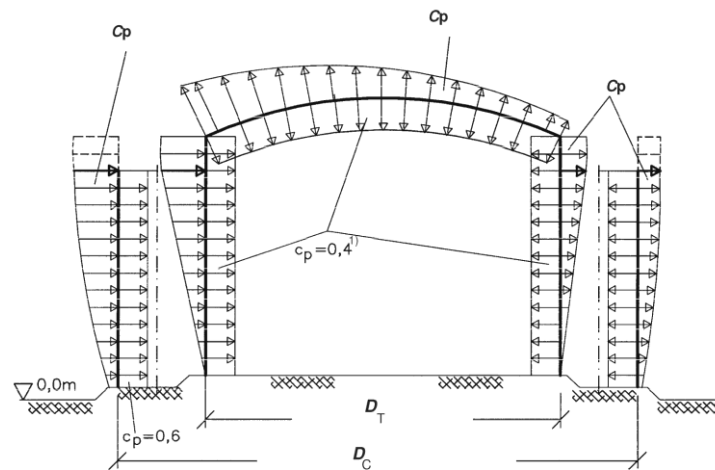
А.2.12.1 Нагрузки от труб, клапанов и другого оборудования, присоединенных к резервуару, и нагрузки в результате осадки независимых отдельных опор относительно основания резервуара должны приниматься во внимание. Трубы должны проектироваться так, чтобы минимизировать дополнительные нагрузки на резервуар.

А.2.13 Нагрузки в результате неравномерной осадки

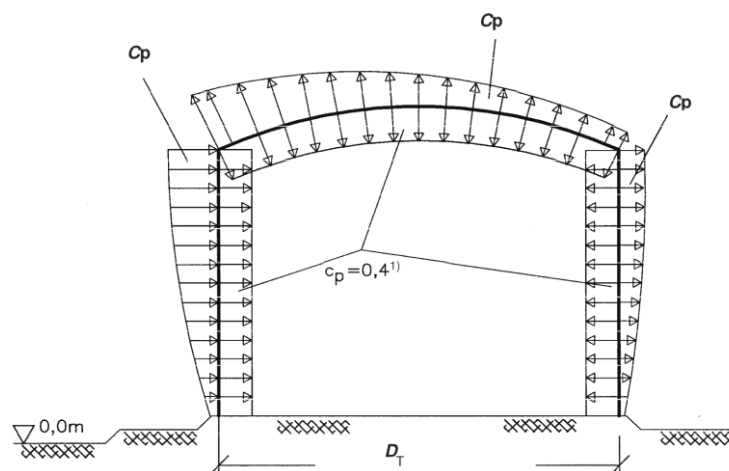
А.2.13.1 Усадочные нагрузки должны приниматься во внимание там, где может ожидаться неравномерная осадка за время эксплуатации резервуара.

А.2.14 Аварийные нагрузки

А.2.14.1 Нагрузки должны быть указаны для конкретных ситуаций и могут включать нагрузки при таких событиях как внешний взрыв, удар, пожар рядом с резервуаром, взрыв, протечка внутреннего резервуара, переворот, переполнение внутреннего резервуара.



а) резервуар с защитной стенкой



а) резервуар без защитной стенки

Рисунок А.1 – Коэффициенты давления для ветровой нагрузки на круглый цилиндрический резервуар

D_T – диаметр основного резервуара; D_C – диаметр приемного резервуара;

1) $C_p = 0,4$ применяется только для вентилируемого резервуара; там, где никакие числовые значения не даны для C_p , они должны быть взяты из EN 1991-1-4.

УДК 624.014.24

МКС 91.010

Ключевые слова: оболочечные элементы, цилиндрический или прямоугольный стальной резервуар, днище, стенка, уторный узел, жесткость, устойчивость, прочность.

Ресми басылым

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ӨНЕРКӘСІП ЖӘНЕ ҚҰРЫЛЫС МИНИСТРЛІГІНІҢ ҚҰРЫЛЫС ЖӘНЕ
ТҰРҒЫН ҮЙ–КОММУНАЛДЫҚ ШАРУАШЫЛЫҚ ІСТЕРІ КОМИТЕТІ

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ
НОРМАТИВТІК-ТЕХНИКАЛЫҚ ҚҰРАЛЫ

ҚР НТҚ 03-04-2.1-2012

**БОЛАТ КОНСТРУКЦИЯЛАРЫН ЖОБАЛАУ
БОЛАТ РЕЗЕРВУАРЛАР БӨЛІМІ**

Басылымға жауаптылар: «ҚазҚСҒЗИ» АҚ
Компьютерлік беттеу:
Басуға _____ 2012 ж. қол қойылды. Пішімі 60 x 84 ¹/₈.
Қарпі: Times New Roman. Шартты баспа табағы 2,1.
Тараламы _____ дана. Тапсырыс № _____.

«ҚазҚСҒЗИ» АҚ
050046, Алматы қаласы, Солодовников көшесі, 21
Тел./факс: +7 (727) 392 76 16 – қабылдау бөлмесі

Официальное издание

КОМИТЕТ ПО ДЕЛАМ СТРОИТЕЛЬСТВА И ЖИЛИЩНО–КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА
МИНИСТЕРСТВА ПРОМЫШЛЕННОСТИ И СТРОИТЕЛЬСТВА РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

НТП РК 03-04-2.1-2012

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ
ЧАСТЬ. СТАЛЬНЫЕ РЕЗЕРВУАРЫ**

Ответственные за выпуск: АО «КазНИИСА»
Набор и компьютерная вертка:

Подписано в печать _____ 2012 г. Формат 60 x 84 ¹/₈
Гарнитура: Times New Roman. Усл. печ. л. 2,1
Тираж _____ экз. Заказ № _____

АО «КазНИИСА»
050046, г. Алматы, ул. Солодовникова, 21
Тел./факс: +7 (727) 392 76 16 – приемная