

ДНІПРОВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ОЛЕСЯ ГОНЧАРА
Фізико-технічний факультет
Кафедра «Проектування та конструкції»

Шевцов В.Ю.

Конспект лекцій

з дисципліни

**Конструювання транспортно-космічних
систем**

**Дніпро
2022**

УДК 629.73 Шевцов В.Ю. Конструювання транспортно-космічних систем.
Конспект лекцій.-Дніпро, 2022. -79с

Схвалено на засіданні кафедри «Проектування та конструкції»,
протокол № 13 від 17.05. 2022__ року

Рекомендовано науково-методичною радою ФТФ для спеціальності
«Авіаційна та ракетно-космічна техніка»
протокол № __10__ від «__24__» _____05_____ 2022__ року

Зміст

1. Основні етапи розробки транспортно-космічних систем – ТКС.....	4
2. Елементи конструкцій і нумерації креслень.....	5
3. Конструктивна досконалість ТКС.....	7
4. Технологічність конструкцій та вибір раціональних матеріалів технологічних процесів.....	10
5. Конструювання корпусів ТКС та критерії оцінки технічних рішень...11	
6. Вибір конструктивно-силової схеми ТКС.....	13
7. Вибір матеріалу конструкції та типу профілів основних силових елементів.....	19
8. Забезпечення міцності конструкції за критерієм мінімальної маси.....	22
9. Проектування конструкції деталей при виготовленні різними технологічними способами.....	29
10. Загальні правила раціонального конструювання.....	34
11. Паливні баки. Призначення, різновиди, склад, конструкційні матеріали.....	36
12. Конструювання днищ паливних баків.....	37
13. Конструювання стінок паливних баків.....	43
14. Конструювання розпірно-стикувальних шпангоутів.....	50
15. Конструювання внутрішньобакових пристроїв і вузлів кріплення арматури.....	53
16. Призначення сухих відсіків. Склад і конструкція силових елементів клепаних відсіків.....	62
17. Визначення конструктивних параметрів «сухих» відсіків.....	67
18. Особливості конструювання клепаних перехідних, приладових і хвостових відсіків.....	69
19. Конструювання головних аеродинамічних обтікачів (АО).....	73
20. Конструювання ферм.....	77
21. Конструювання «сухих» відсіків з композитних матеріалів.....	79
Література.....	82

1.Основні етапи розробки транспортно - космічних систем - ТКС.

Проектно - конструкторські роботи у процесі розробки ТКС умовно розбиваються на три етапи.

Перший етап - це етап розробки аванпроекту. На цьому етапі приймається принципова схема, обґрунтовуються рішення по оформленню вигляду ТКС. На підставі принципової схеми проводиться попереднє компонування (взаємне просторове розміщення) для розробки силової схеми корпусу і основних агрегатів, а також схеми технологічного членування ТКС і попереднього вибору матеріалу конструкції.

Основним етапом вирішення конструкторських задач є ескізне проектування. На цьому етапі видаються технічні завдання співвиконавцям на розробку основних вузлів, систем і агрегатів (системи керування, двигунної установки, органів керування, тощо). Видача ТЗ супроводжується конструкторським опрацюванням і взаємною ув'язкою всіх систем і відсіків, прийняттям принципових конструктивних рішень по всіх відсіках.

На підставі розрахунку теплових і силових навантажень, з подальшим повним обсягом міцністних розрахунків, розробляється конструкція всіх відсіків, вузлів, агрегатів і систем. Усі нові конструкторські рішення перевіряються на дослідних конструкціях і моделях на працездатність.

Підсумком ескізного проекту є пояснювальна записка та альбоми проектних креслень. Пояснювальна записка містить усі необхідні розрахунки по обґрунтуванню вибраних конструкторських рішень. В альбомах проектних креслень показують компонувальні і силові схеми, креслення загального виду ТКС і всіх складових елементів.

Третій етап називається етапом технічного проектування. На цьому етапі здійснюється взаємна ув'язка ескізних проектів ТКС з системами, виконаними суміжниками. Перевіряються нові технічні рішення, проводяться технологічні випробування. Розробляється комплект робочих креслень - на всі складові елементи конструкції ТКС та її комплектуючих систем і

агрегатів. Разом з робочими кресленнями розробляється комплект технічної документації (технологічної, експлуатаційної, тощо). Здійснюється уточнення і деталізація конструкторських рішень, проводиться випуск та узгодження заводом - виготовлювачем робочих креслень ТКС в цілому, її основних частин, вузлів і т. д до найдрібніших деталей. Випускається документація на випробувальне обладнання для статичних, динамічних, вібраційних, функціональних, стендових та інших випробувань. За результатами випробувань встановлюються масові параметри і уточнюються розрахунки на міцність всіх елементів конструкції; коригується креслярсько - технічна, технологічна та експлуатаційна документація.

2. Елементи конструкцій і нумерації креслень.

У процесі розробки ТКС користуються наступними найменуваннями видів виробів:

- Деталь — виріб виготовлений з одного матеріалу без застосування складальних операцій (технологічні операції виготовлення різні);
- збірна (складальна) одиниця — виріб складається з декількох деталей; збирається на заводі - виробнику;
- комплекс — два і більше збірнонепов'язані вироби для взаємопов'язаних експлуатаційних функцій.

Усі елементи конструкції ТКС поділяються на:

- елементи зовнішньої поверхні: обшивки, обічайки;
- елементи каркаса;
- елементи поздовжнього набору: лонжерони, стрингери, стінки;
- елементи поперечного силового набору: шпангоути, нервюри;
- елементи з'єднання: вузли підвіски, косинки, накладки, кронштейни, закінцівки, фітинги і т. п.;
- елементи кріплення: заклепки, гвинти, болти, гайки тощо.

Більшість елементів конструкції стандартизовано.

Послідовність складання елементів конструкції знаходить своє відображення в системі нумерації креслень. Нумерації підлягають усі випущені креслення. При розробці конструкторської документації допускається використання двох систем позначень: предметної і знеособленої. Для ТКС використовується, в основному, предметна. Предметна складається з інформації про складові частини виробу і порядкової нумерації складових частин (деталей та складальних одиниць). Наприклад, нумерація умовної ТКС 14Б78.1.00.4561.0100.0010.00.0.СБ говорить про те, що індекс ТКС - 14Б78, ступінь перша - 14Б78.1.. Далі йде порядкова інформація про складові частини виробу:

.00. – цифри штатного виробу, при позначенні .00. – штатний виріб, 01, 02 і т. д. – позаштатний (дослідний) виріб;

.0000. – наступні чотири цифри – цифрова нумерація виробу, в даному випадку 4561 (перша ступінь);

.0000. – наступні чотири цифри представляють номер функціональної групи. У нашому випадку це 0100 – бак окислювача;

.0000. – дані чотири цифри дають порядковий номер деталі або складальної одиниці. В даному випадку 0010 – номер днища бака окислювача. Закінчення номера на нуль говорить про складальну одиницю на цифру – 0 деталі складання.

.00. – наступні дві цифри це номер варіанта (модифікації); 00 – первинний варіант, 01 – перша модифікація і т.д.;

.0. – є ознакою конструкції: 0 – складальна одиниця, 1 – деталь;

Таким чином, у нашому прикладі мова йде про складальну одиницю, початкового варіанту, днища, бака окислювача, першої ступені виробу 14Б78. Після 17 - знакового позначення прставляється буквенний шифр документа: СБ - складальне креслення, ПО - креслення загального виду (Вид загальний), ТЧ - теоретичне креслення, ГБ - габаритне креслення, МЧ -

монтажне креслення, ТУ - технічні умови, ПМ - програма і методика випробувань, ТБ - таблиці, РР – розрахунки, тощо.

Знеособлена класифікація складається з трьох розрядів:

- перші чотири цифри або букви – код підприємства - розробника;
- наступні шість цифр – код класифікаційної характеристики;
- останні три цифри – порядковий номер реєстрації.

Код класифікаційної характеристики говорить про:

- клас виробу – перші дві цифри;
- підклас – третя цифра;
- група – четверта цифра;
- підгрупа – п'ята цифра;
- вид – шоста цифра.

Перевагою цієї класифікації є її універсальність, можливість позначення подібних деталей і конструкцій за однаковими ознаками.

3.Конструктивна досконалість ТКС.

Основним елементом конструкції ТКС є корпус. Всередині і зовні корпусу монтуються комплектуючі системи і агрегати ТКС: корисний вантаж, двигуни, система керування, рульові органи і т. д.. Корпус сприймає, передає і перерозподіляє навантаження під час наземної експлуатації та в польоті. Геометрія корпусу утворює аеродинамічну форму.

У загальному випадку корпус рідинного ТКС складається з декількох відсіків: баків окислювача і пального (часто у вигляді єдиного паливного відсіку), ємностей допоміжних компонентів і ємностей стисненого газу, приладових і хвостових відсіків, двигунних відсіків, перехідних відсіків між баками, між ступенями, між останнім прискорювачем і головною частиною. До корпусних відсіків відносяться головні аеродинамічні обтічники, а також зовнішні силові оболонки (у разі підвісних баків).

Найважливішою характеристикою корпусу і всієї конструкції ТКС є показник досконалості маси конструкції α_K :

$$\alpha_K = \frac{M_K - M_{KB}}{M_O - M_{KB}} = \frac{M_{\text{констр}}}{M_{\text{констр}} + M_{\Pi}}, \quad (3.1)$$

де M_K – кінцева маса;

M_O – стартова маса;

M_{KB} – маса корисного вантажу;

$M_{\text{констр}}$ – маса конструкції носія;

M_{Π} – маса палива.

Для оцінки досконалості самого корпусу ТКС використовують показник досконалості маси конструкції корпусу:

$$\alpha_{K.K} = \frac{M_K - M_{KB} - M_{\text{дв}}}{M_O - M_{\text{Г.Ч}} - M_{\text{дв}}} = \frac{M_{\text{констр}} - M_{\text{дв}}}{M_{\text{констр}} - M_{\text{дв}} + M_{\Pi}}, \quad (3.2)$$

де $M_{\text{дв}}$ – маса двигунів.

Примітка: формули 3.1 і 3.2 використовують для оцінки досконалості конструкції прискорювачів ТКС. В цьому випадку всі позначення мас відносяться до даного прискорювача і до даного ступеню; під вагою корисного вантажу i -го ступеня розуміють $M_{\text{к.в.}i} = M_{i+1}$ – масу $i + 1$ ступеня.

На рис. 1 показана приблизна залежність α_K для сучасних носіїв від стартової маси носіїв ТКС (без маси корисного вантажу):

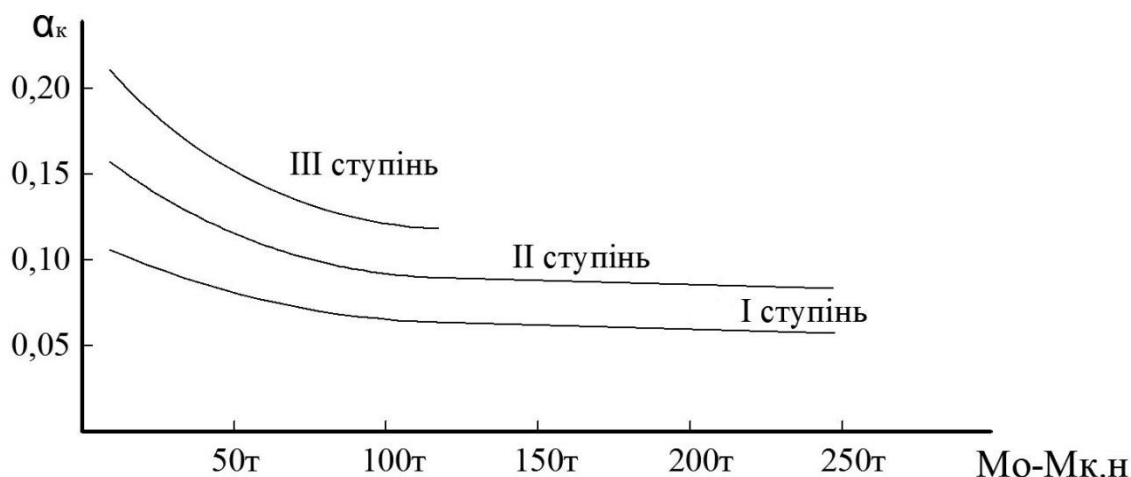


Рис. 1

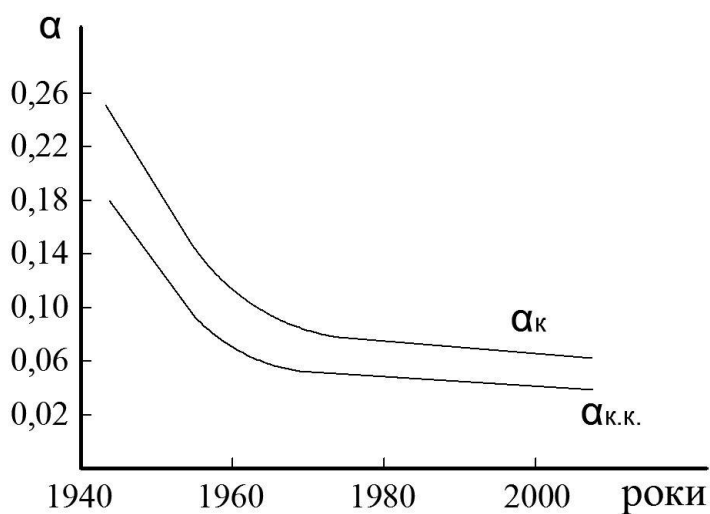


Рис. 2

Співвідношення значень α_k і $\alpha_{к.к.}$ за часом розвитку ракетно космічної техніки і зростання якості показано на рис. 2..

На значення α_k впливають також умови експлуатації, вибір конструкційних матеріалів, підвищення вимог до надійності і т. п..

Значення α_k зростає при ущільненні компонування (на 5 - 10%), при підвищенні надійності і живучості, при збільшенні тягоозброєності і т. д..

Позитивно на показник якості конструкції позначається застосування вафельних оболонок, використання для виготовлення баків листів з алюмінієвого сплаву АМг6НН з підвищеною (до 30%) міцністю шляхом нагартівки ($\sigma_b/\rho = 16 \cdot 10^4$ Дж/кг), а для сухих відсіків пресованих профілем з високоякісного алюмінієвого сплаву В95Т1 ($\sigma_{0.2}/\rho = 16 \cdot 10^4$ Дж/кг), впровадження конструкцій з композитних матеріалів.

4. Технологічність конструкції та вибір раціональних матеріалів технологічних процесів.

Під технологічністю розуміють можливість застосування найбільш досконалих технологічних процесів для отримання високої якості конструкції при мінімальних витратах праці і часу, а отже і мінімальної вартості.

Технологічність конструкції передбачає:

- застосування стандартних і нормалізованих елементів;
- уніфікацію елементів;
- спадкоємність конструкції;
- простоту форми;
- використання легко оброблюваних матеріалів;
- зниження вимог до точності та чистоти обробки;
- зростання коефіцієнта використання матеріалу.

Впровадження прогресивних технологічних процесів сприяє скороченню кількості та зменшенню габаритів деталей. Велика кількість деталей вимагає: великого обсягу креслярської документації, витрат часу на виготовлення й складання; ускладнює виробництво і управління процесом виробництва; великої кількості елементів кріплення.

Основним засобом скорочення числа деталей є перехід до прогресивних технологічних процесів: штампування і лиття.

Штампування деталей з листового матеріалу, профілів і труб, є одним з найбільш прогресивних технологічних процесів і застосовується для виготовлення багатьох деталей: каркаса, елементів поздовжнього і поперечного наборів, різного роду косинок, фітингів, тощо.

Штампування дозволяє:

- отримувати деталі мінімальної маси;

- виготовляти деталі з високим коефіцієнтом використання металу заготовки;
- застосувати механізацію і автоматизацію технологічного процесу;
- отримати без додаткової обробки високу точність і чистоту поверхні;
- значно скоротити кількість деталей.

У великосерійному виробництві і для деталей з великою площею необроблюваної поверхні вигідно застосовувати гаряче штампування.

Деталі складної конфігурації важко виготовляти литтям із матеріалів з високими характеристиками міцності, особливо ударної в'язкості і низької пластичності. Проте лиття дозволяє отримати деталі самої складної конфігурації з невеликим числом оброблюваних поверхонь і малими припусками на обробку, що важливо для деталей з надміцних матеріалів. В литих деталях досягається раціональний розподіл матеріалу по перерізу. Методами точного лиття – під тиском і по виплавлюваних моделях – отримують високу точність і чистоту поверхні.

Механічна обробка у багатьох випадках дозволяє отримати необхідну точність і чистоту поверхні при мінімумі маси конструкції і досить широко використовується на практиці.

5.Конструювання корпусів ТКС та критерії оцінки технічних рішень.

Кінцева мета конструювання - створення ТКС з заданими параметрами. При цьому ТКС повинна виконувати свої функції з найбільшою ефективністю. До показників ефективності належать корисна віддача, вартість, довговічність, надійність, живучість. Значущість цих показників залежить від призначення об'єкта конструювання. Для корпусів ТКС основним показником ефективності є маса конструкції. Корисна віддача ТКС максимальна при мінімальній масі корпусу. Поряд з досягненнями

екстремуму значення основного показника в процесі конструювання необхідно забезпечити мінімум вартості (залежно від технологічності), гарантований термін експлуатації, ймовірність безвідмовної роботи конструкції, стійкість до впливів зовнішніх факторів експлуатації (живучість).

Завдання конструювання корпусів ТКС за критерієм мінімальної маси полягає у виборі оптимальних характеристик конструктивно-силової схеми: типу та марки матеріалу; типу конфігурації і розмірів силових і основних не-силових елементів. Важливим моментом у процесі конструювання за критерієм мінімуму маси є дотримання принципів скидання функціонально відпрацьованої маси, використання всього об'єму корпусу (ущільнення компонування), застосування принципів раціонального конструювання.

При обмеженнях на вагу і габарити ТКС в якості критерію оптимальності конструкції може використовуватися узагальнений енергетичний критерій у вигляді максимуму висоти орбіти, максимуму виведеного на орбіту вантажу, тощо.

Завдання забезпечення мінімальної вартості вирішується раціональним конструюванням і раціоналізацією виробництва, застосуванням прогресивних технологічних процесів.

Показником ефективності в даному випадку може служити вартість виведення на проміжну кругову орбіту $H = 200$ км однієї тони корисного вантажу.

Відповідальним фактором в розробці конструкції ТКС є забезпечення гарантійного терміну експлуатації. На гарантійний термін служби конструкції впливають умови експлуатації (корозія), зниження фізико - механічних характеристик матеріалів з часом (особливо гуми, пластмас, клеїв), зовнішні та внутрішні навантаження (зокрема транспортні та циклічні, що призводять до втомного руйнування деталей).

Завдання забезпечення необхідної ймовірності безвідмовної роботи конструкції ТКС зводиться в основному до виконання умов міцності

(стійкості та жорстокості) і герметичності відсіків та їх елементів. Гарантією міцності служать коефіцієнти безпеки. Герметичність забезпечується конструктивно і контролюється в процесі складання та в процесі експлуатації.

В якості критеріїв оцінки технічних рішень служать надійність – показник нормального функціонування в заданих умовах протягом необхідного періоду часу; витривалість – здатність функціонувати в умовах несприятливих зовнішніх факторів і в нерозрахункових умовах експлуатації; довговічність – загальний час роботи ТКС (або його систем, наприклад орбітального літака) з проміжними ремонтами до повного зношування; простота експлуатації і ремонтпридатність.

Надійність – забезпечується надійністю матеріалу конструкції і конструктивно - силової схеми, дублюванням відповідальних систем і деталей.

Живучість забезпечується компоновочними заходами і дублюванням життєво важливих систем і конструкцій.

Довговічність (ресурс) визначається умовою самоокупності і запланованого прибутку.

Простота експлуатації і ремонтпридатність оцінюються можливістю проведення регламентних і ремонтних робіт та заміни деталей або систем що вийшли з ладу.

6. Вибір конструктивно - силової схеми ТКС.

Параметри конструкції корпусу ТКС залежать від компоновальної схеми і визначаються характером навантаження. Як приклад компонування ТКС розглянемо гіпотетичний варіант (рис.3) щільної компоновки за схемою «тандем». ТКС містить головний аеродинамічний обтічник 1 (скидається після проходження щільних шарів атмосфери під час поділу ступенів), бак окислювача II – і ступені – 2 та бак пального у вигляді тора – 3. Баки

окислювача і пального II – ї ступені з'єднані перехідним відсіком – 4, а перший і другий ступені перехідним відсіком 5 з вікнами під газові рульові двигуни – 12. До складу конструкції корпусу I – го ступеня входить єдиний паливний відсік, з рознесеним подвійним проміжним днищем – 14 між баком окислювача – 6 і баком пального – 7 та хвостовий відсік – 8. На рис. 3 зображені також адаптер – 10, космічний апарат – 9, двигун другого ступеню – 11 і двигун першого ступеню – 13. Двигун другого ступеню розміщений в об'ємі порожньої частини бака пального II – го ступеню. Двигун першого ступеню підвішений на кардановому підвісі до опорно – торцевого шпангоута бака пального I – го ступеня. В якості палива застосовуються рідкий кисень O_2 і гас. Для покращення центрування баки окислювача розташовані перед баками горючого, а для нейтралізації охолоджуючої дії рідкого кисню на бак пального між баками II ступеню передбачений перехідний відсік, а між баками I – го ступеню два рознесених днища з теплоізоляцією між ними. Ступені та відсіки ракети з'єднуються і поділяються за розпірно – стикувальними і силовими стикувальними шпангоутами відсіків.

Конструктивний вигляд корпусу ТКС, поряд з її компонуванням, визначає механічні і теплові навантаження. Внаслідок використання тонкостінної конструкції ТКС, її нагрівання враховується через зниження фізико – механічних властивостей матеріалів в процесі розрахунку несучої здатності при механічному навантаженні. Зниження або виключення нагрівання досягається використанням теплозахисних покриттів.

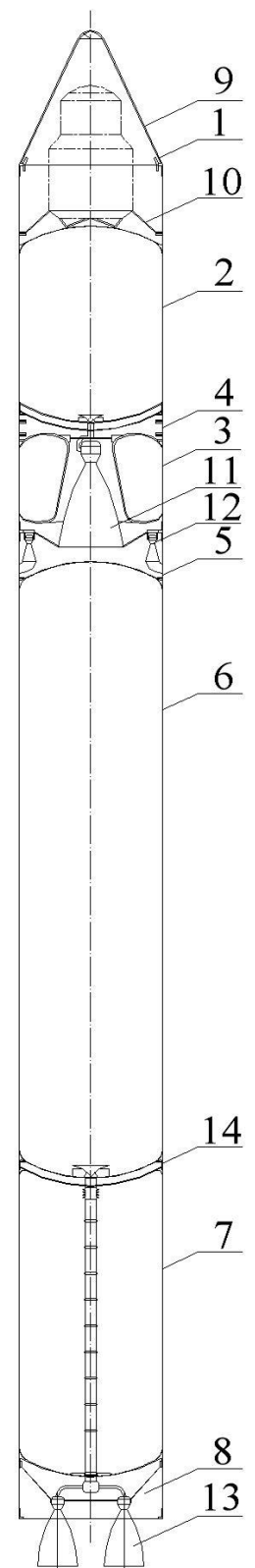


Рис. 3

До числа основних механічних навантажень відносяться осьові стискаючі сили T , згинальний момент M , перерізуючі сили Q , внутрішній і зовнішній тиск P .

Згинальні моменти зазвичай приводяться до еквівалентних осьових стискуючих і розтягуючих сил.

$$T_{\text{екв}} = \pm T \pm 2M/R,$$

де R – радіус кривизни відсіку.

За характером впливу навантаження поділяються на динамічні (у тому числі імпульсні), циклічні та інші.

Згідно із законом розподілу по поверхні навантаження діляться на рівномірні і локальні (зосереджені). Значення навантажень встановлюються в результаті аналізу всіх режимів експлуатації. Найбільші з них називаються експлуатаційними.

Для компенсації помилок розрахунку, невідповідності характеристик матеріалу розрахунковим значенням, для безпеки експлуатації ТКС, експлуатаційне навантаження завищують на величину коефіцієнта безпеки. Отримане значення навантаження називають розрахунковим. Відношення розрахункового допустимого навантаження до експлуатаційного називається коефіцієнтом безпеки f .

Величина коефіцієнта безпеки визначається розрахунковими випадками.

Розрахунковим випадком називається максимальне значення навантаження в розрахунковому перерізі. Рекомендовані значення коефіцієнта безпеки для типових розрахункових випадків навантаження наступні:

- при транспортуванні $f = 2$;
- при старті $f = 1,5$;
- на активній ділянці польоту у випадку максимального внутрішнього надлишкового тиску в ємності $f = 1,5$; у випадку максимуму поперечних

навантажень $f = 1,3$; максимуму поздовжніх навантажень $f = 1,3$; максимуму нагріву конструкції $f = 1,3$.

Визначення розрахункового випадку проводиться зазвичай для окремого елемента, а не для конструкції корпусу в цілому.

Граничний напружений стан обумовлений частіше всього декількома видами навантажень. Одно з навантажень може бути домінуючим. У цьому випадку його називають визначальним.

Корпус ТКС складається з декількох відсіків (рис.3). Конструкцію кожного відсіку утворюють силові (несучі) і несилові (формоутворюючі) елементи. До силових елементів відносяться балки, стрижні, кільця, пластини та оболонки.

При дії згинального моменту балки вимагають великої маси і застосовуються рідко.

Більшість елементів корпусу працює на розтяг і стиск. Стрижні є основними несучими елементами підкріплених оболонок (стрингери і лонжерони) та ферм. Стрижнями є також болти і шпильки. Кільця працюють в підкріплених оболонках (шпангоути), в ємностях (розпірні шпангоути) і т. д.. В якості пластин працюють полиці стрингерів і шпангоутів, ділянки обшивки між ребрами та інші елементи. Оболонки становлять основу конструкції корпусу і поділяються на гладкі, підкріплені шпангоутами і без них; вафельні - з кільцевими ребрами; тришарові - з легким заповнювачем оболонки та ін.

Спрощена графічна модель з основними несучими елементами корпусу (або окремого відсіку) називається конструктивно - силовою або силовою схемою. Силова схема визначає тип, конструкцію і основні розміри навантажених елементів, марку матеріалу, товщину і марку ТЗП (тепло – захисного покриття) для захисту від перегріву силових елементів.

В якості прикладу розглянемо конструктивно - силову схему бака пального другого ступеня (рис.4).

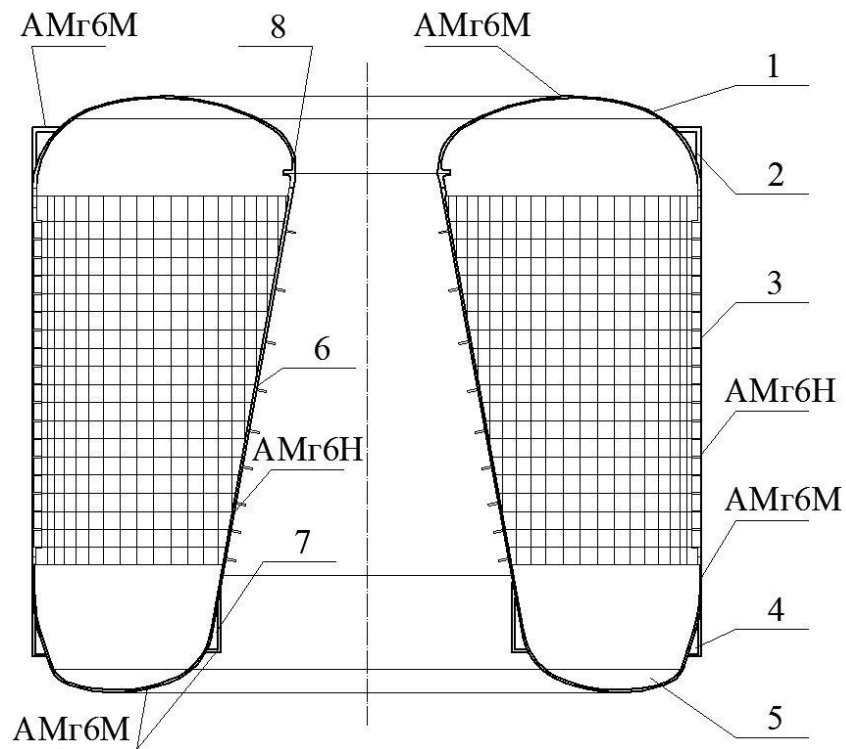


Рис. 4

1 - гладка оболонка верхнього днища торового бака пального, працює на розтяг; 2 - опорно торцевий шпангоут; 3 - зовнішня оболонка бака вафельної конструкції, працює на стійкість від осьової сили і розтягування від внутрішнього надлишкового тиску; 4 - опорно торцевий шпангоут нижнього днища; 5 - нижнє днище, виконане з гладкої оболонки, працює на розтяг; 6 - внутрішня оболонка бака, підкріплена кільцевими ребрами, працює на стійкість від зовнішнього тиску наддуву; 7 і 8 - опорні шпангоути. На малюнку також наведено тип матеріалу конструктивних елементів бака пального.

Параметри силових елементів визначаються схемами навантаження. Характерні схеми навантаження наведено на рис. 5.

До основних різновидів вичерпання несучої здатності силових елементів відносяться втрата міцності і втрата стійкості. При роботі на розтяг вибирають матеріали з високими σ_v/ρ , а площа перерізу елемента - з умови $\sigma < [\sigma]$, де $[\sigma]$ - допустимі напруження.

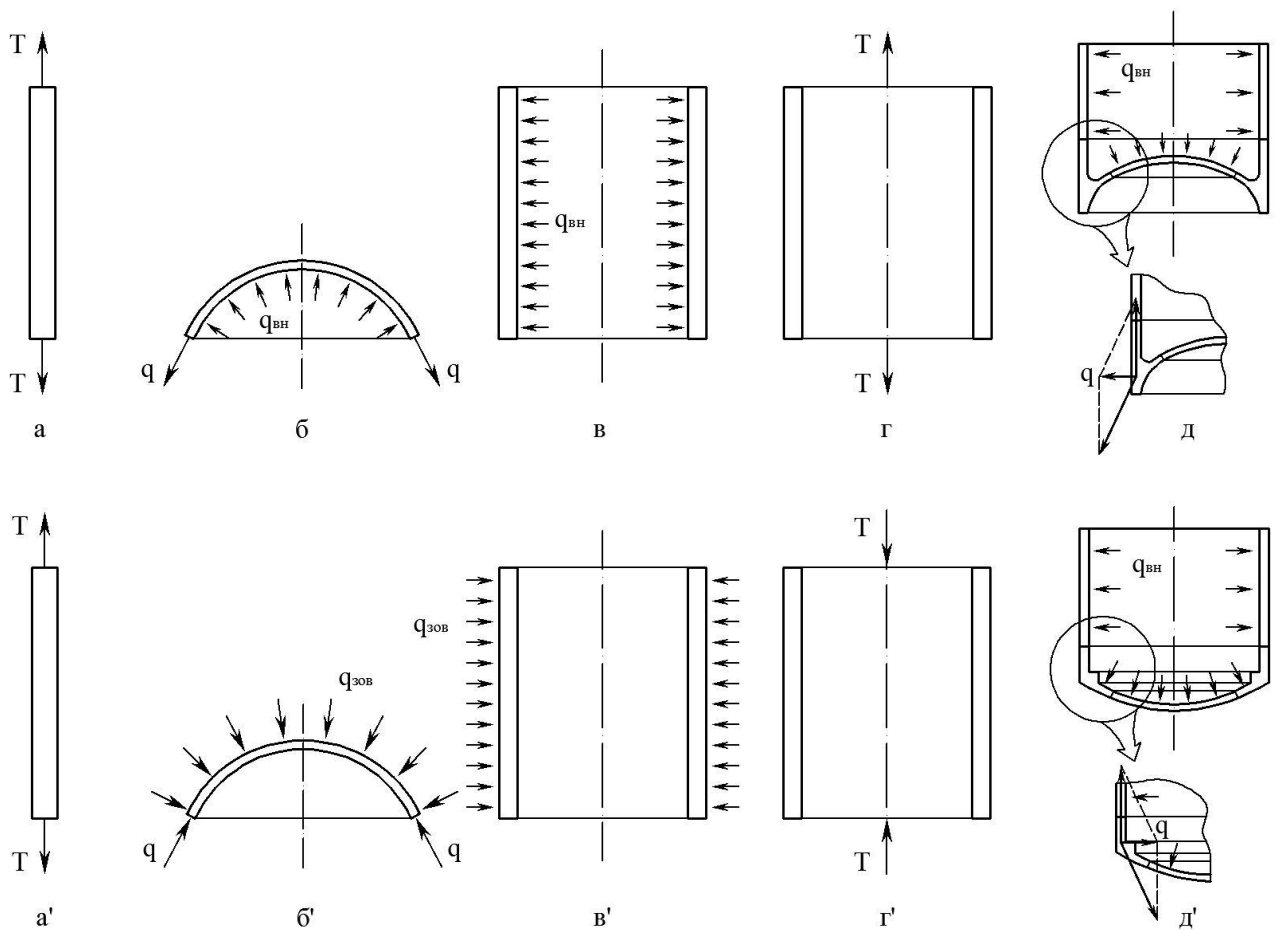


Рис. 5. Характерні схеми навантаження: а, а' - стрижні; б, б' - сферичні оболонки; в, в', г, г' - циліндричні оболонки; д, д' - розпірностикувальні шпангоути.

Стиснуті елементи можуть втратити працездатність внаслідок загальної - $\sigma_{кр}^{заг}$ або місцевої - $\sigma_{кр}^M$ втрати стійкості і втрати міцності.

Стійкість забезпечується при $\sigma_{кр} < \sigma_{кр}^M$ або $\sigma_{кр} < \sigma_{кр}^M$. Критичне напруження залежить від жорсткості конструкції і властивостей її матеріалу. Жорсткість залежить від геометрії конструкції: форми і розмірів перерізу, довжини, радіуса, кривизни і т. д. Форму і розміри перетину характеризує момент інерції. Момент інерції відображає ступінь рознесення матеріалу відносно нейтральної осі.

Логічну модель раціонального конструювання стиснутих елементів можна представити наступним чином:

- вибирається матеріал з високим модулем пружності E (для забезпечення максимуму пружності) і високим значенням σ_v/ρ ;
 - знаходиться площа перерізу з умови роботи на стискання;
- підбирається форма і розміри, тобто момент інерції перерізу елемента (в межах встановленої площі). Якщо не задовольняється вимога втрати загальної та місцевої стійкості, то скорочується розрахункова довжина підкріплень. Якщо цього недостатньо, збільшують площу перерізу елементів.

7. Вибір матеріалу конструкції та типу профілів основних силових елементів.

При виборі матеріалу конструкції необхідно враховувати:

- вартість матеріалу і витрати в процесі виготовлення конструкції;
- можливість застосування для отримання форми і габаритів;
- освоєння технологічних процесів обробки;
- можливість застосування для майбутніх умов експлуатації;
- питомі міцнісні та жорсткісні характеристики;
- реологічні характеристики (зміни характеристик матеріалу з часом).

Матеріали конструкцій працюють по різному під впливом різних зовнішніх навантажень. Показниками працездатності на даний вид навантаження є коефіцієнти питомої міцності:

σ_v/ρ – розтягнення і чисте стискання;

$\sqrt{E}/\rho$ – поздовжній згин;

$\sqrt[3]{\sigma_v^2}/\rho$ – поперечний згин;

τ_v/ρ – зсув;

$\sigma-1/\rho$ – знакозмінні навантаження;

де σ_B – тимчасовий опір, E – модуль пружності, τ_B – тимчасовий опір зсуву, σ_{-1} – межа витривалості при знакозмінному симетричному циклічному згині.

Якщо залишкові деформації матеріалу конструкції не допустимі, то в якості критеріїв вибору матеріалу при роботі на розтяг і стиск приймають σ_s/ρ або $\sigma_{0,2}/\rho$, де σ_s – межа текучості, $\sigma_{0,2}$ – межа пропорційності. Для більшості конструкцій напруження не повинно перевищувати $\sigma_{0,2}$ (σ_s). У цьому випадку коефіцієнт безпеки повинен бути не менше $f \approx \sigma_s/\sigma_{0,2}$ (приблизно 1,5 для більшості матеріалів).

З підвищенням температури σ_B і $\sigma_{0,2}$ різних матеріалів змінюються по різному. При порівнянні таких матеріалів замість σ_B/ρ застосовують σ'_B/ρ , де $\sigma'_B = \sigma_{0,2}^0 f$, $\sigma_{0,2}^0$ – значення $\sigma_{0,2}$ при даній температурі, σ'_B – умовне значення руйнівного напруження.

Важливим критерієм вибору матеріалу є його опір втоми при циклічному навантаженні і швидкість поширення тріщин, що з'явилися. Опір втоми характеризується кривою Веллера, що показує залежність σ_B від числа циклів навантаження N (рис.6).

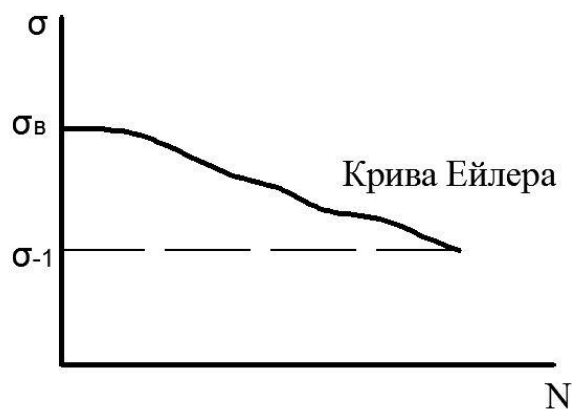


Рис. 6

Для конструкцій, що працюють в умовах кінетичного нагріву, важлива повзучість матеріалу. Критерієм вибору матеріалу в цьому випадку є $\sigma_{0,2/100}/\rho$, де $\sigma_{0,2/100}$ – межа повзучості при високих температурах (напруження, що викликають деформацію 0,2% за 100 годин).

Для несилкових конструкцій застосовуються матеріали з малою щільністю, зазвичай це алюмінієві і магнієві сплави.

При конструюванні ТКС все ширше використовуються композиційні матеріали (КМ). КМ складаються з високоміцних волокон (наповнювачів) і матриці. В якості наповнювачів використовують вуглець, бор, кремній, графіт, берилій та ін.; в якості зв'язуючого (матриці) - синтетичні смоли або сплави інших матеріалів. Співвідношення між наповнювачем і матрицею може бути самим різним, також як і розташування волокон. КМ мають високу міцність і жорсткість при малій масі і перспективні для силових і несилкових елементів конструкції. Широкому впровадженню КМ перешкоджає висока вартість і нестабільність характеристик.

При виборі типу профілю виходять із призначення конструкцій. Стрижні працюють на розтяг і стиск. При розтягуванні раціональніші стрижні суцільного компактного перетину (наприклад, круглого). Суцільні стрижні раціональні і при роботі на стиск, коли діючі напруження прагнуть до граничних на стиск σ_T ($\sigma_{0,2}$), а критичні $\sigma_{кр} > \sigma_T$. Умова раціональності в цьому випадку має вигляд:

$$\sigma_{\Pi} \leq \sigma \leq \sigma_T (\sigma_{0,2}), \sigma \leq \sigma_{кр}, \quad (7.1)$$

де σ_{Π} – межа пропорційності матеріалу. При невиконанні цієї умови раціональними будуть стрижні з рознесеною площею поперечного перерізу (наприклад, трубчасті). Умовою вибору профілю стрижня в цьому випадку буде рівність критичних напружень загальної $\sigma_{кр}^0$ і місцевої $\sigma_{кр}^M$ втрати стійкості:

$$\sigma_{кр}^{заг} = \sigma_{кр}^M. \quad (7.2)$$

При виборі типу оболонки, гладкої чи підкріпленої, керуються наступними положеннями:

– при дії на конструкцію внутрішнього тиску та осьової розтягуючої сили, найбільш раціональна гладка конструкція оболонок;

– гладкі оболонки раціональні при зовнішньому надлишковому тиску і дії осьової стискаючої сили, якщо

$$\sigma_{\Pi} \leq \sigma \leq \sigma_T (\sigma_{0,2}), \sigma \leq \sigma_{кр}; \quad (7.1)$$

– якщо не виконується попередня умова, раціональними є підкріплені конструкції оболонок;

– при навантаженні оболонок зовнішнім тиском і невиконанні умови 7.1 раціональним для циліндричних і конічних оболонок є підкріплення у вигляді кільцевих ребер.

Вибір типу профілів розпірних шпангоутів визначається наступними положеннями:

– компактні типи профілів складного перерізу раціональні у разі навантаження розтягувальними зусиллями;

– компактні профілі складного перерізу раціональні і в разі стиску за умови 7.1;

за невиконання умови 7.1 раціональні по масі профілі з рознесеною площею поперечного перерізу (пустотілі й іншої форми).

8. Забезпечення міцності конструкції за критерієм мінімальної маси.

При проектуванні ТКС перерізи елементів конструкції підбирають за руйнівними навантаженнями і за руйнівними напруженнями. Для окремих елементів конструкції при роботі на розтяг в якості руйнуючих приймають менше напруження з урахуванням роботи на втому. Для елементів, що працюють на стискання з втратою стійкості, за руйнуючі приймають критичні напруження $\sigma_{кр}$.

Основним шляхом забезпечення міцності при найменшій масі конструкції є:

- вибір форми перерізу;
- врахування напрямку силового потоку;
- врахування концентрації напружень при зміні площі перерізу;
- врахування ослаблення конструкції в місцях стику;
- врахування вирізів і підсилення конструкції.

1. При виборі форми перерізу керуються наступними положеннями:

- матеріал конструкції повинен бути зосереджений в більш напружених зонах;
- при розтягуванні і чистому стисканні (без втрати стійкості) елемента доцільно застосовувати симетричний суцільний переріз;
- при виборі форми перерізу стрижневих систем, що працюють на стиск, визначальними є напруження втрати стійкості. Можлива загальна а) і місцева втрата стійкості б) (рис.7).

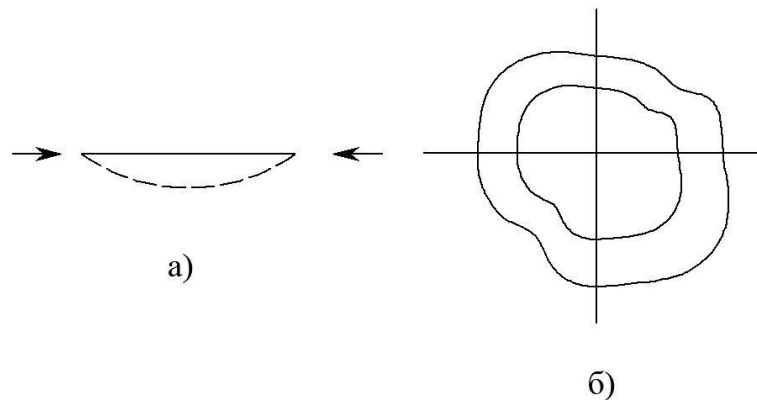


Рис. 7

При місцевій втраті стійкості вісь залишається прямою, але на поверхні з'являються вм'ятини і складки.

При загальній втраті стійкості в межах застосовності формули Ейлера критична сила $P_{кр}$ і критичне напруження $\sigma_{кр}$ визначаються виразами:

$$P_{кр} = \frac{cF^2EI}{L^2} \quad , \quad \sigma_{кр} = \frac{cF^2E}{(L/i)^2} \quad , \quad (8.1), (8.2)$$

де c – коефіцієнт закріплення стрижня, L - довжина стрижня, L/i - гнучкість, F - площа перерізу.

Залежність критичних напружень від гнучкості наведена на рис. 8. Значення $(L/i)_{\text{опт}}$ характеризує межу застосовування формули Ейлера. При гнучкості менше $(L/i)_{\text{опт}}$ матеріал починає текти і $\sigma_{\text{кр}}$ визначається імперично.

З формули 8.2 випливає, що $\sigma_{\text{кр}}$ зростає із зростанням моменту інерції E .? Для збільшення $\sigma_{\text{кр}}^0$ необхідно розносити матеріал конструкції як можна далі від осі. Однак зі зростанням критичних напружень загальної втрати стійкості зменшується товщина стінки (труби, або іншого елемента), що призводить до місцевої втрати стійкості при

$$\sigma_{\text{кр}}^{\text{м}} = \frac{0,9 \kappa E}{(d/\delta)^2} \cdot \quad (8,3)$$

У формулі 8.3 κ - коефіцієнт форми (геометрії) перерізу, d - діаметр труби (для профілю довжина елемента); δ - товщина елемента (рис.9).

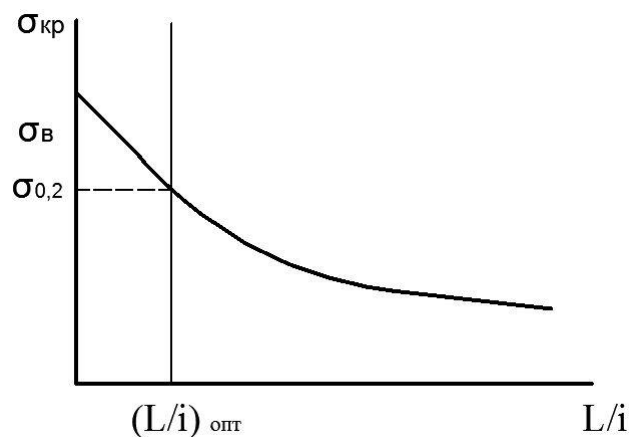


Рис. 8. Крива Ейлера

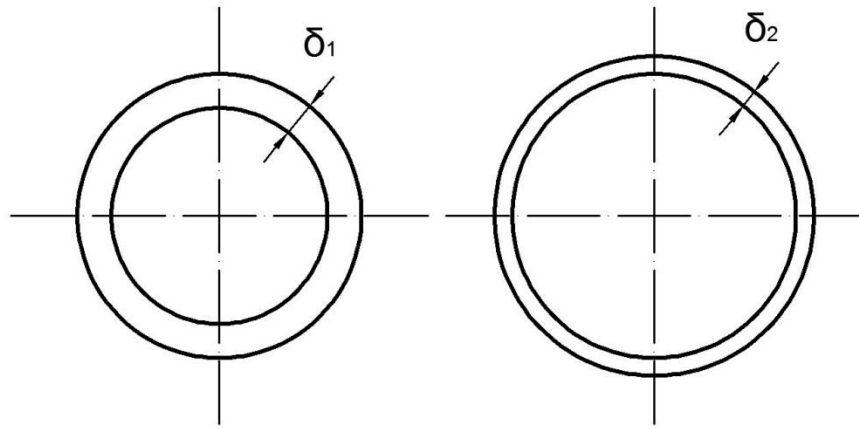


Рис. 9. Труби з однаковою площею перетину, але з різними моментами інерції

Оптимальна форма перерізу конструкції при роботі на стійкість визначається з рівності $\sigma_{кр}^{зар} = \sigma_{кр}^M$.

Для підвищення місцевої стійкості елемента застосовують гофровані, відбортвані і рихтовані конструкції.

У стрижнів з центром ваги не на лінії центру мас перерізів конструкції (з дією по ній сили) крім випучування спостерігається кручення стрижня. Це відноситься до відкритих профілів типу швелера і куточка (рис.10.а). Критичне напруження при цьому знижується і визначається емпіричною формулою

$$\sigma'_{кр} = \sigma_B \frac{1+v}{1+v+v^2}, \quad (8.4)$$

$$\text{де } v = \sigma_B / \sigma_{кр}; \sigma_{кр} = \frac{cF^2 E}{(L/i)^2}.$$

Для підвищення $\sigma_{кр}$ застосовують стрижні з замкнутими контурами (рис.10 б). Для цього профіль клепають до обшивки.

При визначенні критичного напруження місцевої втрати стійкості відкритого профілю його елементи представляються у вигляді пластин (рис.11) з відповідним обпиранням крайок і навантаженням стискаючими силами. Для таврового профілю місцева стійкість ніжки і полиці розраховується за формулами

$$\sigma_{кр.м} = \frac{0.9 \kappa E}{(B_1/\delta_1)^2}, \quad \sigma_{кр.п} = \frac{0.9 \kappa E}{(B/\delta)^2}$$

і визначається для форми (К) пластинки з однобічною зарубкою.

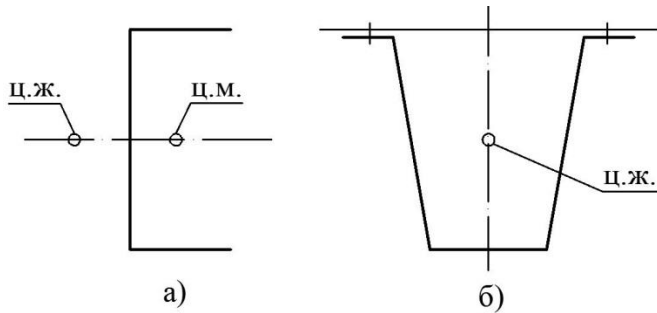


Рис. 10

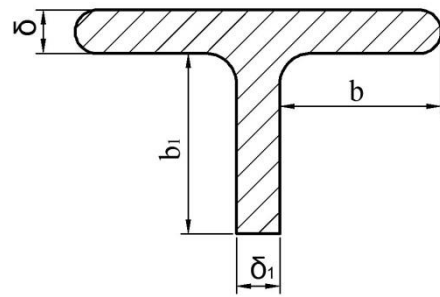


Рис.11

Для оболонок зі стрижневим підкріпленням (стрингери) доцільно застосування куточків і таврів, основна маса яких віддалена від осі оболонки і створює більший момент інерції.

Для елементів конструкції при роботі на кручення вибирається замкнутий контур. Напруження зсуву та розподіл дотичних зусиль при крученні визначається за формулами:

$$\tau_{кр} = \frac{M_{кр}}{2\omega\delta}; \quad q_{кр} = \frac{M_{кр}}{2\omega}, \quad (8.5), (8.6)$$

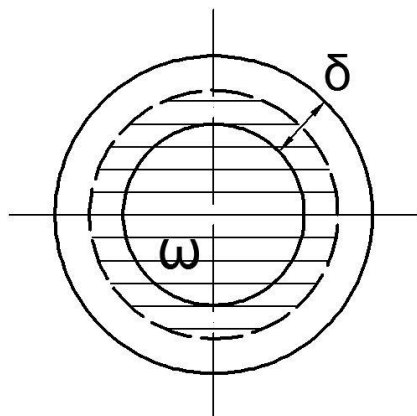


Рис. 12

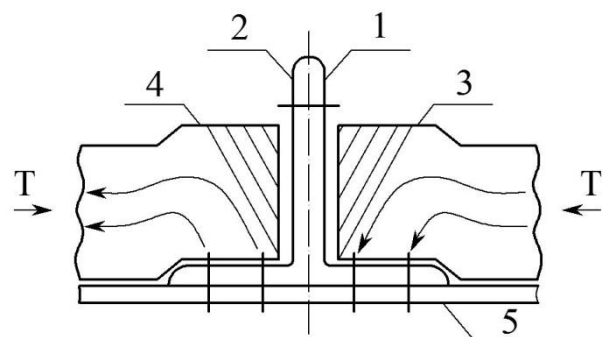


Рис. 13

де $M_{кр}$ – крутний момент, δ - товщина контуру, ω - площа до середньої лінії контуру (рис.12). Найменша маса обшивок при крученні буде при найбільшій ω . При цьому треба мати на увазі зменшення товщини δ і зниження $\sigma_{кр}$.

2. Врахування силового потоку при включенні елементів конструкції в роботу.

При передачі зусиль через конструкцію частина матеріалу силових елементів може виявитися незадіяною (рис.13). Уявімо силовий потік через стрингери 3, 4, обшивку 5 і торцеві стикувальні шпангоути 1, 2 у вигляді поточних струменів води. Тоді заштрихована область на стрингерах є функціонально не задіяною і може бути видалена.

3. Врахування концентрації напружень при зміні площі перерізу.

При зміні навантаження неприпустимо різко міняти опорну площу перерізу. Це викликає концентрацію напружень і значно знижує опір втомі конструкції (рис.14). У випадку а) концентрація напружень виникає в точках а і в. Якщо здійснити перехід плавно (випадок б), то напруження перерозподіляються і концентрації напружень не буде.

4. Врахування ослаблення конструкції в місцях стику.

Ослаблення спостерігається при наявності отворів під заклепки і болти. У цих місцях конструкцію необхідно посилити (рис.15). Необхідно уникати розташування місць ослаблення в одній площині (приклад рис 14.а).

При стику стінок шпангоута, полиць стрингера і фітинга з'єднання бажано виконувати в різних перетинах.

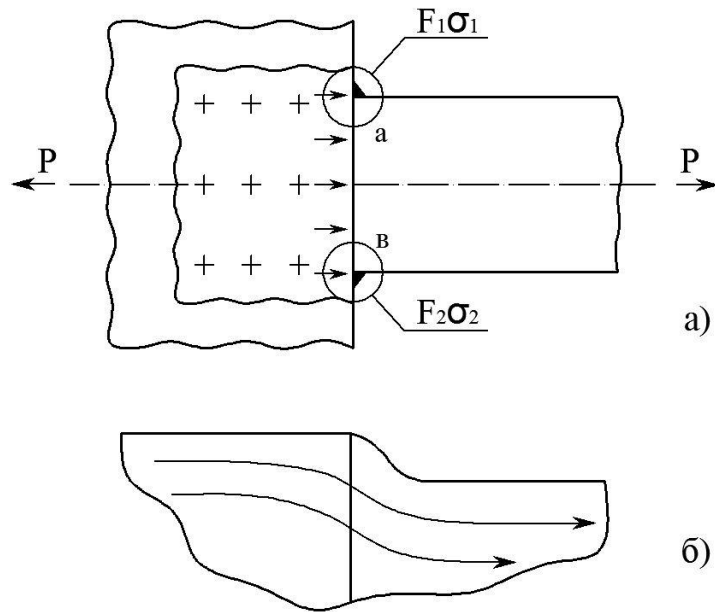


Рис. 14

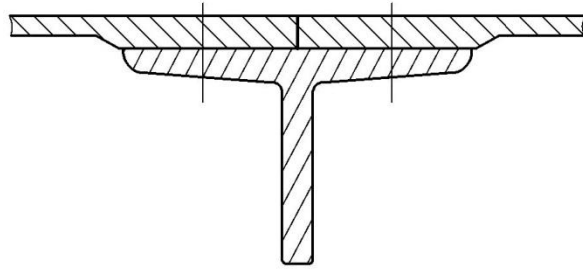


Рис.15

5. Врахування вирізів і посилення конструкції.

Наявність вирізу викликає зміну потоку розподілених сил, які ведуть себе аналогічно потоку рідини (рис.16). Максимальних значень напруження досягають в точках a та c :

$$\sigma_{max} \approx 3\sigma_{сер} = \frac{P}{F}.$$

Для зменшення ефекту ослаблення перерізу вирізами, отвори роблять у шаховому порядку. Отвори під люки-лази і вікна в обшивці обов'язково окантовують або клепають підсилюючі накладки. Роль окантовки в деяких випадках грають відбортовки.

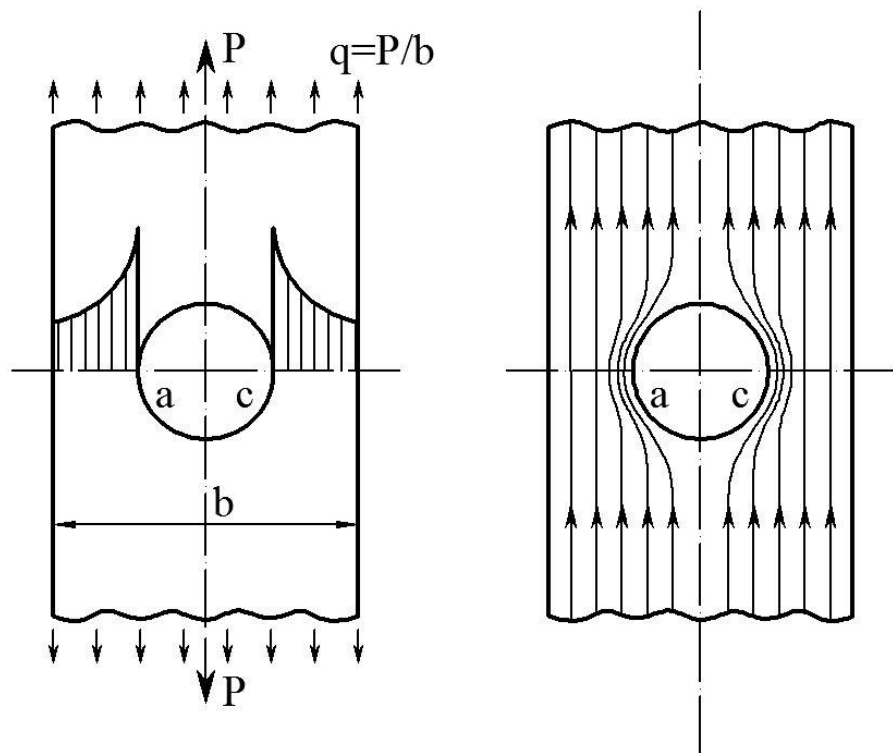


Рис. 16

9. Проектування конструкції деталей при виготовленні різними технологічними способами.

Тип заготовки для деталей багато в чому визначає специфіку її проектування і виготовлення.

При виготовленні деталей з листового матеріалу широко використовується холодна штамповка. Це в основному елементи силового набору ТКС. При виготовленні деталей холодним штампуванням рекомендується:

- проектувати борти профілів та інших елементів з відкритими або нульовими малками (рис.17а);
- вирізи для профільного набору (під стрингери) виконувати у відповідності до форми перерізу стрингера. Наприклад, для бульбоугольника можливий виріз з язичком і без язичка;

- напрямок штампування відбортовок повинен збігатися з напрямком згинання бортів (рис.18а);
- форму і глибину підсічок виконувати за стандартами (рис.19);

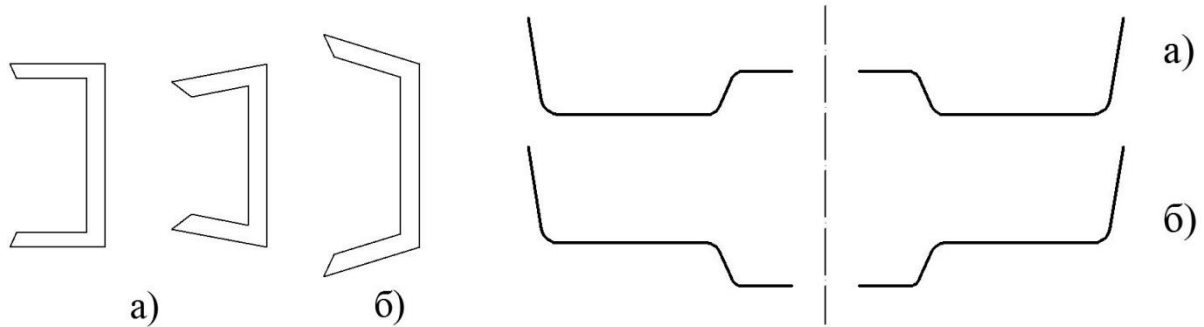


Рис. 17

Рис. 18

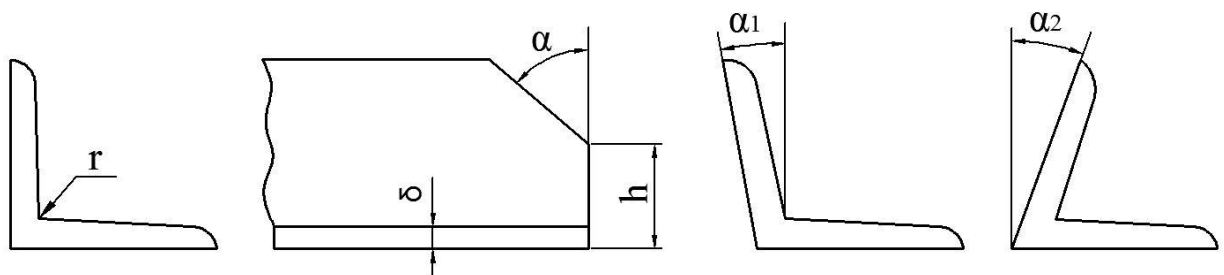


Рис. 19

- розміри перемичок між отворами, радіуси згину, висоти бортів згину, радіуси закріплення брати за технологічними довідниками;
- найменші радіуси гнуття деталей з пресованих профілів полицею всередину приймають при $R \geq 6H$ і полицею назовні при $R \geq 5H$. Не рекомендується гнути профіль стінкою назовні.

При виготовленні деталей гарячим штампуванням собівартість вище із-за складного оснащення та обладнання. Застосовується для виготовлення деталей з більшістю необроблюваних поверхонь. При проектуванні гарячештампованих деталей слід:

- прагнути до простоти форм і плавності переходів від перерізу до перерізу;

- проектувати деталі так, щоб з однієї заготовки отримати одночасно праву і ліву деталь;
- робити деталі симетричними;
- по можливості забезпечувати лінію роз'єму штампу в одній площині;
- значення ухилів приймати за довідником; враховувати, що зовнішні ухили α завжди менше внутрішніх β (рис.20). В середньому $\alpha = (5 \dots 7)^\circ$, $\beta = (7 \dots 10)^\circ$;
- дотримуватися необхідних товщин δ і висоти ребер; ребра розташовувати з одного боку; уникати змінних по товщині ребер;

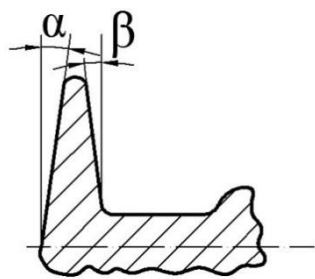


Рис. 20

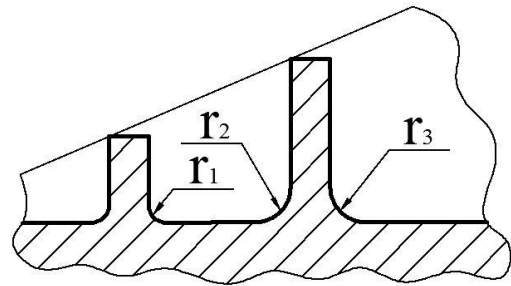


Рис. 21

- при змінних висоті ребра і відстані між ребрами слід застосовувати змінний радіус сполучення ребер з полотном ($r_1 < r_2 < r_3$), (рис.21);
- шорсткість поверхні сталевих деталей із - за окалини більша, ніж у кольорових металів.

При використанні методу лиття деталей зі складними криволінійними поверхнями необхідно обирати варіанти з мінімумом оброблюваних поверхонь. Це положення стосується насамперед деталей з надміцних сплавів. Особливостями литих деталей є однорідність механічних властивостей у всіх напрямках, підвищена жаростійкість, висока точність, мала шорсткість і висока жорсткість завдяки монолітності деталі. Недоліком таких деталей є знижені механічні властивості.

Способи лиття залежать від матеріалу, розміру і конфігурації заготовки, шорсткості поверхні. Найменшу шорсткість можна отримати литтям під тиском тонкостінних деталей з $\delta \approx 2,5 \dots 3$ мм з кольорових металів складної конфігурації. При литті слід витримувати необхідні ухили і радіуси заокруглень. Малі радіуси переходу призводять до концентрації напружень і появи тріщин. Великі радіуси - до усадкових ефектів. Рекомендуються наступні значення радіусів: для лиття під тиском - 0,3 мм, по виплавлюваних моделях - 0,25 мм, у піщані форми, кокіль і оболонкові форми – 3 мм.

Для вибору радіуса спряження стінок і ребер слід користуватися правилом вписаних кіл (рис.22). Відношення D/d повинно бути не менше 1,3. При δ стінок до 10 мм рекомендується $r = (a + b)/3$, при більшій - $r = a$ (рис.23б).

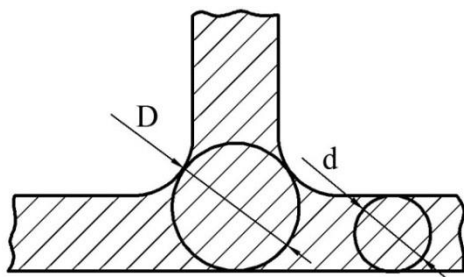


Рис.22

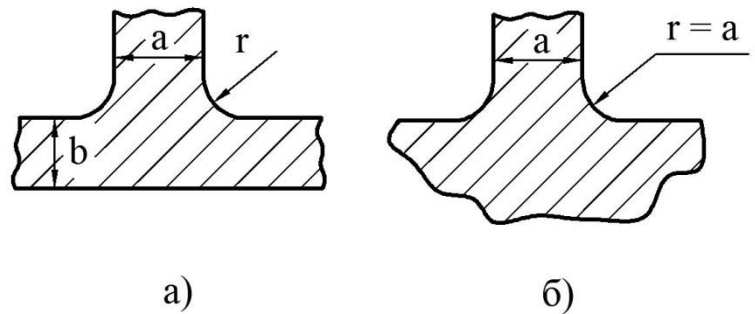


Рис. 23

Щоб уникнути рихлот і раковин бажано суцільний матеріал корпусу частково замінити ребрами.

Підрізка ребер при механічній обробці неприпустима.

За допомогою механічної обробки різанням виготовляються деталі високої точності і малої шорсткості. Механічна обробка застосовується також після інших видів виготовлення. Процес механічної обробки дуже неекономічний із - за великих втрат металу в стружку. При проектуванні деталей з механічною обробкою необхідно дотримуватись наступних правил:

- форма заготовки повинна бути як можна ближче до форми деталі;
в цьому випадку піде менше металу;
- проектуючи деталь, пам'ятай про інструменті її обробки;
- при фрезеруванні необхідно враховувати розміри фрез. При торцевому фрезеруванні ширина поверхні повинна дорівнювати $D_{\text{фр}}$. При циліндричному фрезеруванні ширина поверхні повинна бути на 3...5 мм більше ширини поверхні фрези;
- при розточці і фрезеруванні слід передбачати проточки для виходу різця, фрези або шліфувального круга (рис.24а,б);

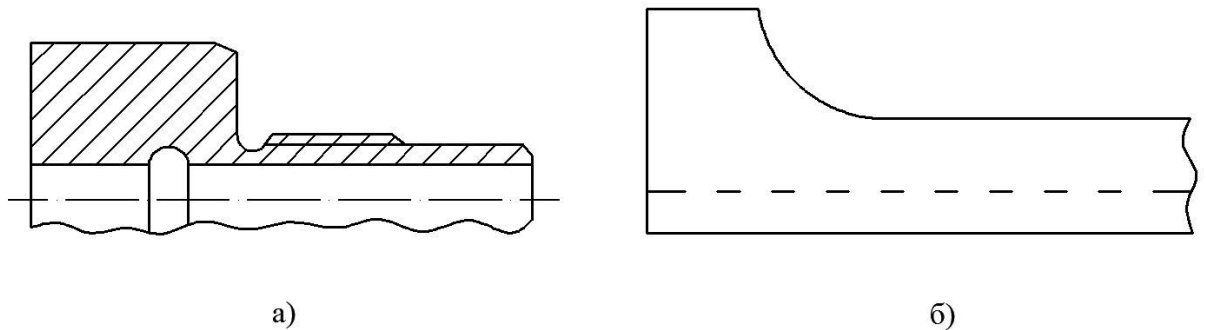


Рис. 24

- необхідно уникати свердління під кутом до поверхні; отвір прагнути виконувати наскрізним;
- слід уникати обробки по контуру;
- намагатися виконувати ступінчасті отвори так, щоб можлива була їх обробка з одного установа;
- слід уникати посадки за двома і більше площинами, оскільки це ускладнює складання;
- скорочувати площу (довжину і ширину) оброблюваної поверхні;
- для зовнішніх різьб передбачається фаска під кутом 45^0 для запобігання різьб від пошкоджень.

10. Загальні правила раціонального конструювання.

При проектуванні конструкцій дотримуються загальних правил раціонального конструювання. Стосовно розробки ТКС найбільш характерні наступні:

1. Віддавати переваги варіанту роботи конструкції на розтяг внаслідок простоти і мінімуму маси.
2. Передбачати передачу сили найкоротшим шляхом (рис.25), бажано по прямій.
3. Прагнути не застосовувати конструкцій, які працюють на стійкість.

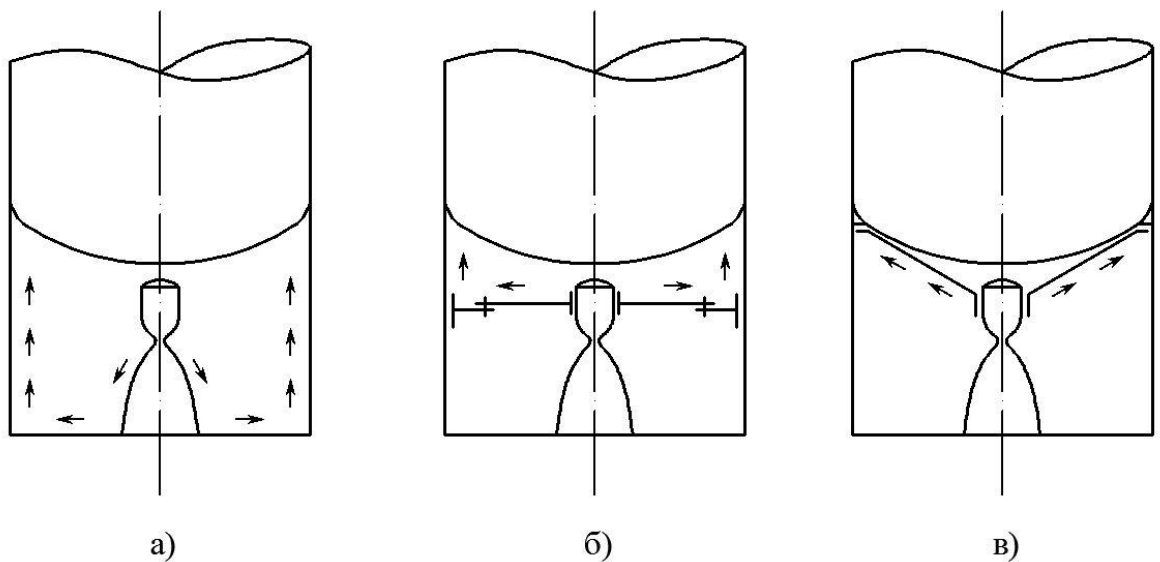


Рис. 25

4. Забезпечувати рівномірність (рівностійкість) конструкції по всіх перетинах.
5. Рівномірно розподілити прикладені навантаження по площі. Виключати по можливості зосереджені сили.
6. Підходити до конструювання комплексно: варіювати геометричні параметри, матеріал, вид навантажень, вимоги та обмеження.

7. Рационально поєднувати нові рішення в сукупності з відомими, відпрацьованими. Не застосовувати нові там, де добре зарекомендували себе відомі рішення.

8. По можливості виключати з конструкції рухомі деталі.

9. Якщо можна в одній конструкції звести воедино кілька різних навантажень для зменшення рівнодіючої, необхідно це зробити.

10. Форма деталей повинна слідувати формі та напрямку силового потоку.

11. Геометрична конструкція повинна відстежувати епюру навантажень (рис.26).

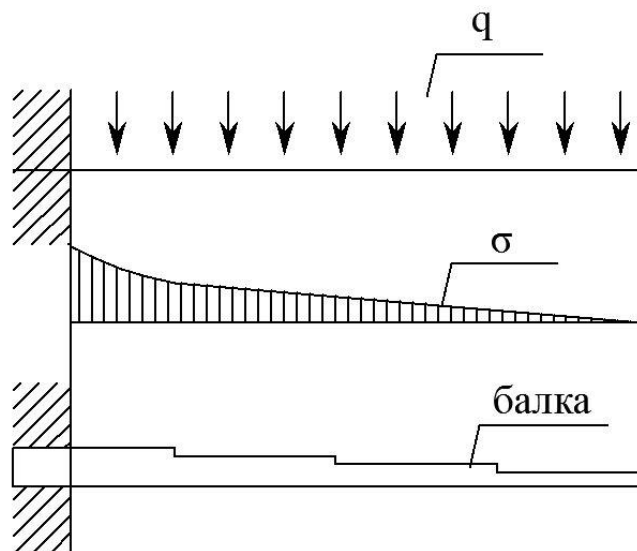


Рис. 26

12. Якщо вузол, що складається з декількох елементів, можна виготовити як одну деталь – це бажано зробити.

13. Матеріал конструкції повинен відповідати виду навантаження.

14. Необхідно дотримуватися вимог технічної естетики.

15. Використовувати досвід попередніх розробок.

16. Проводити експертно - екологічну оцінку прийнятих рішень.

11. Паливні баки. Призначення, різновиди, склад, конструкційні матеріали.

Паливні баки служать для розміщення компонентів палива (КП), подачі їх в двигун, сприйняття і передачі навантажень. ПБ складають основну частину конструкції ТКС і визначають її габарити і масу.

До ПБ пред'являються вимоги малої маси, високої несучої здатності, корозійної стійкості, надійності функціонування (забір КП, дренаж, демпфірування коливання КП і т. д.), простоти та технологічності конструкції.

Розрізняють паливні баки несучі і ненесучі (підвісні), навантажені (при витиснювальній системі подачі КП в двигун) і розвантажені (при подачі палива турбонасосним агрегатом - ТНА). ПБ окислювача і пального можуть бути виконані окремо і у вигляді єдиного паливного відсіку з проміжними днищами. Тип ПБ, його форма і розташування залежать від компонування. Найбільш поширена циліндрична форма баків. На верхніх ступенях також застосовують сферичну, конічну та торову форми ПБ.

ПБ складається з корпусу і арматури. Силовими елементами корпусу є днища, стінки і розпірно - стикувальні шпангоути.

Відповідно до вимог до ПБ вибираються матеріали їх конструкції. В якості конструкційних матеріалів ПБ розглядаються алюмінієві, титанові і високоміцні корозійно - стійкі сплави. Однак несумісність дуралюмінів з гідразинами (через Cu)? і вибухонебезпечність титану з парами азотної кислоти звужують вибір матеріалів до алюмінієво - магнієвих сплавів і сталей. З точки зору питомої міцності і питомої жорсткості вимогам задовольняє нагартований алюмінієвий сплав АМг6НН (з 30% нагартуванням). Високоміцні сталі перевищують сплав АМг6НН по питомій міцності, але гірше працюють на стійкість. «М'який» алюмінієвий сплав АМг6М рівнозначний АМг6Н і АМг6НН по питомій жорсткості, але поступається за питомою міцністю. АМг6М застосовують там, де при

виготовленні деталей матеріал нагрівають (днища); АмГбН використовується на листках великої товщини, де нагартровку до 30% отримати не вдається. Сталі проблематичні із - за тонкостінності і малої жорсткості конструкції. При великих тисках в ПБ (витиснювальна система подачі КП) стінки товщають і застосування сталей стає доцільним.

Зниження характеристик АмГбНН при нагріванні до рівня АмГбМ звужує область застосування цього сплаву для конструкцій, що не вимагають нагрівання (в основному стінки ПБ) при виготовленні.

12.Конструювання днищ ПБ.

Принципові відмінності в конструкції днищ обумовлені умовами навантаження і характером роботи на міцність або стійкість, а також вимогами до герметичності. Форма днищ обумовлена компонуванням і умовами навантаження. Вона може бути сферичною, конічною, торовою і визначається щільністю компонування ТКС.

Найбільше поширення в конструкції ПБ отримали днища сферичної форми з радіусами сфери $R_{сф} = (1,2...1,5) R_{ц}$, ($R_{ц}$ – радіус циліндричних обводів бака). Днища сферичної форми кращі по масі і технологічності. Зі зменшенням радіуса днищ аж до $R_{сф} = R_{ц}$ зменшується їх товщина і згинальні напруження в місцях з'єднання днища з корпусом. Цей ефект призводить і до зменшення площі перерізу розпирного шпангоута. Однак такі днища незручні в компонуванні, так як залишають багато вільного місця в корпусі.

Конічні днища використовуються для передачі через них радіальних і осьових сил. Кут нахилу конічних днищ визначається співвідношенням сил і тиску в баках. Пологі днища краще сприймають радіальні сили, але гірше працюють на тиск.

Основним розрахунковим випадком навантаження днищ є вплив внутрішнього надлишкового тиску газів наддуву і гідростатичного стовпа

рідини на старті та в польоті ТКС. При цьому слід враховувати вплив нагріву конструкції при наддуванні гарячими газами. Необхідно звернути увагу також на різницю тисків в баках з проміжним днищем. Днище може також навантажуватися силою при передачі її на корпус і реакцією опор при транспортуванні.

Днища виготовляють, як правило, штампуванням з великим ступенем витяжки, а тому вимагають нагрівання листової заготовки. В якості конструкційного матеріалу використовують легкий сплав АМг6М.

У процесі штампування відбувається утонення листа, особливо в полюсі днища, що слід враховувати при конструюванні. Вихідним параметром конструювання днища є мінімальна товщина оболонки δ_0 . δ_0 розраховують з умови забезпечення міцності. Для сферичних днищ, навантажених внутрішнім надлишковим тиском, товщина визначається за формулою

$$\delta_0 = \frac{P \cdot R}{2\sigma_B}, \quad (12.1)$$

де P – розрахунковий тиск (більший за експлуатаційний на коефіцієнт безпеки), R – радіус днища, σ_B – межа міцності матеріалу днища.

Товщина днища під зварювання $\delta_{зак}$ (закінцівки) визначається за тією ж формулою, але замість σ_B приймається границя міцності зварного шва, яка становить $0,9 \sigma_B$ для АМг6М у разі зварних швів І категорії і $0,8 \sigma_B$ - II категорії. Зона впливу шва на міцність становить $l_{зак} = 5...7 \delta_{зак}$ при аргоно - дуговому зварюванні і $(3...5) \delta_{зак}$ при променевому. Фактична маса днища визначається не за δ_0 а по середній товщині $\delta_{мас}$, що враховує технологічні відхилення:

$$\delta_{мас} = \delta_0 + \Delta_{шт} + \Delta_{хім} \quad (12.2)$$

де $\Delta_{шт} = 0,2 \dots 0,25$ мм – різнотовщинність штампування, $\Delta_{хім} = 0,15 \dots 0,2$ мм – половина допуску на хімічне травлення. При визначенні ваги необхідно також враховувати потовщення країв під зварювання.

Конструювання гладких конічних і торцевих днищ подібне сферичним.

Днища, що працюють на стискання, можуть бути підкріпленими і непідкріпленими (гладкими, якщо напруження їх стійкості досить високі). Найбільш раціональним по масі для сферичних днищ є підкріплення вафельного типу. Конструктивні особливості сферичних днищ вафельного типу показано на рис.27. Оцінка доцільності застосування гладкого днища здійснюється в наступній послідовності.

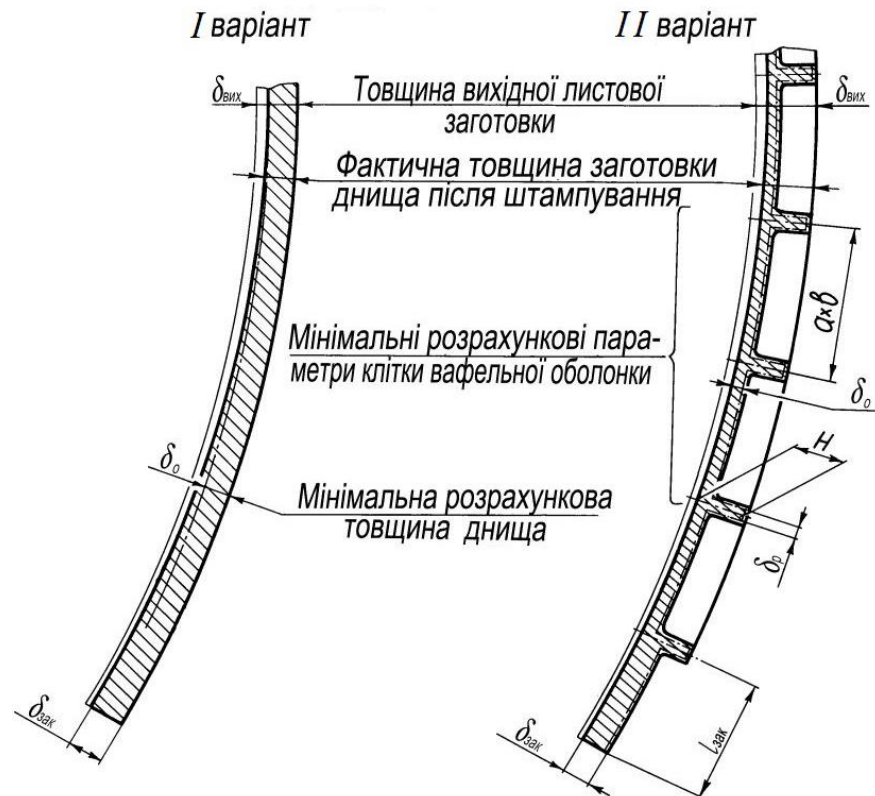


Рис. 27

1. Визначається товщина гладкої оболонки, що задовольняє вимогам стійкості:

$$\delta_0 = \sqrt{\frac{PR^2}{kE}}, \quad (12.3)$$

де P – розрахунковий тиск або різниця тиску по обидві сторони днища, R – радіус днища, E – модуль пружності, k – коефіцієнт стійкості ($k=0,2\dots0,3$).

2. Знаходяться критичні напруження в оболонці, відповідні напруженням втрати її стійкості:

$$\sigma_{кр} = \frac{PR}{2\delta_0}. \quad (12.4)$$

3. Якщо виконується умова $\sigma_{п}=\sigma_{0,2}\leq\sigma_{кр}$, то гладка конструкція раціональна, а якщо $\sigma_{кр}\leq\sigma_{в}$ – то застосовується вафельна оболонка.

Конструктивною особливістю гладких днищ, що працюють на стискання, є відсутність потовщення під зварювання, оскільки зниження міцності мало впливає на жорсткість.

У конструкції днищ вафельного типу найбільше застосування знайшло радіально - кільцеве розташування ребер. Виготовлення вафельних оболонок можливе хімічним травленням, електрохімічною обробкою і механічним фрезеруванням. Останній тип техпроцесу забезпечує найбільшу точність і найбільш поширений.

Маса вафельного днища може бути оцінена по еквівалентній товщині (з розмазаними ребрами):

$$\delta_{екв} = 1,48 \sqrt{\frac{PR^2}{kE(\varphi-0,25)}}, \quad (12.5)$$

де k – коефіцієнт стійкості ($k=0,28\dots0,33$), φ – коефіцієнт ефективності підкріплення ($\varphi=H/\delta_0=6\dots8$).

Розрахункову товщину полотна в клітинці δ_0 і вихідну розрахункову товщину H можна оцінити за формулами:

$$\delta_0 = (0,6\dots0,7) \delta_{екв}; \quad H = \varphi \delta_0.$$

Вафельні днища до розпірно-стикувального шпангоута приварюються по гладкій закінцівці довжиною $l_{зак} = (5\dots6)\delta_{зак}$ при аргоно - дуговому і $l_{зак} =$

$(3...5)\delta_{\text{зак}}$ при електронно - променевому зварюванні. Товщина закінцівки розраховується як товщина гладкого днища при роботі на стискання.

Однією з головних особливостей проміжних днищ є їх гарантована герметичність від проникнення парів компонентів палива і можливого самозаймання.

Схеми конструктивних рішень герметичності проміжних днищ наведено на рис.28, де а) - цілісне, без зварних швів днище; б) - подвійне днище, що складається з двох силових; в) - подвійне днище - з силового і герметизуючого; г) - триметалеве днище з вторинною герметизацією зварних швів.

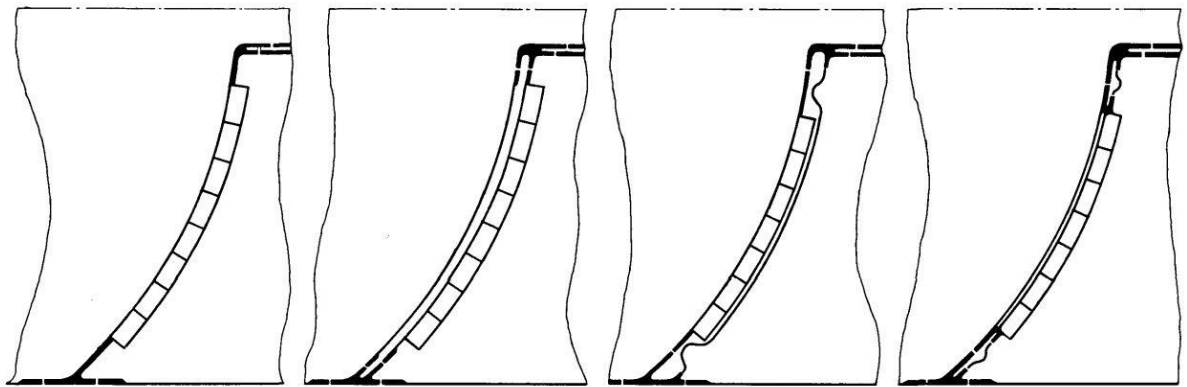


Рис. 28

Послідовність проміжних варіантів днищ напрямків на зниження маси днища з одночасним підвищенням його герметичності.

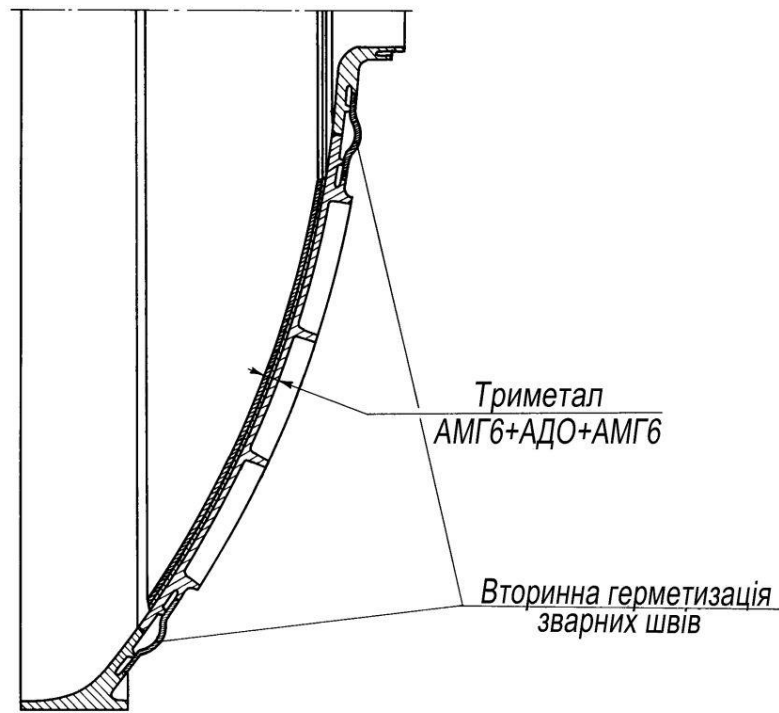


Рис. 29

Варіант а) передбачає безшовність, цілісність конструкції. Цей варіант трудомісткий і складний, вимагає високої якості заготовки, точності методів контролю суцільності та обробки. Варіант б) з подвійним днищем має велику масу. У варіанті в) одне із силових днищ замінено герметизуючим, не силовим. Зниження маси конструкції досягається при використанні багатошарових днищ з триметалевих листів. Триметалеві листи отримують зварюванням під тиском (вибухом або прокаткою - з великим ступенем деформації) пакету заготовок з АМГ6+АДО+АМГ6. На рис.29 показана конструкція триметалевого днища. Особливості конструкції триметалевого днища наступні:

механічна обробка закінцівок під зварювання повинна виключати попадання чистого алюмінію АДО в зону зварювання (погано зварюється і джерело дефектів у зоні зварювання),

необхідно забезпечувати якісне приварювання вторинної герметизації (наприклад, шляхом організації замкового шва),

конструктивні параметри триметалевого днища розраховуються аналогічно звичайним днищам.

13. Конструювання стінок баків.

Стінки баків представляють оболочну конструкцію і сприймають зовнішні та внутрішні навантаження.

До зовнішніх навантажень відносять осьові стискаючі і розтягуючі сили, згинальні моменти, навантаження тиском. До внутрішніх - тиск наддуву і гідростатичний тиск стовпа рідини, нагрівання газами наддуву. В залежності від виду навантажень та їх величини стінки можуть бути гладкими, вафельними або з пресованих панелей з проміжними навісними шпангоутами. Внутрішні оболонки торових ємностей виконуються з підкріплюючими кільцевими ребрами.

Існують дві принципово відмінні схеми складання стінок (рис.30). Спрощена схема краща за технологічністю (менше габарити обічайок і краща якість швів). Застосовується для гладких і вафельних конструкцій, а також гладких з кільцевими ребрами.

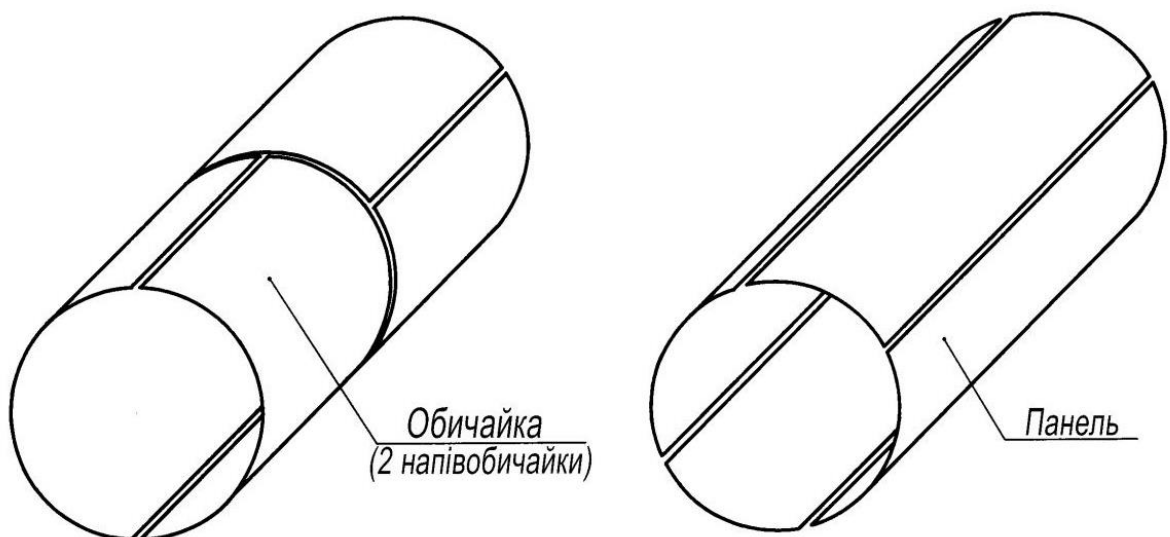


Рис. 30

Панельна схема обумовлена більшою довжиною заготовок панелей. Такі заготовки виготовляються пресуванням спільно з поздовжніми ребрами (стрингерами).

Гладкі стінки найбільш прості по конструкції і застосовуються при навантаженні внутрішнім надлишковим тиском наддуву, а також у разі навантаження комбінованим навантаженням наддуву і осьовою стискаючою силою. Розрахункові випадки навантаженням внутрішнім тиском і осьовою стискаючою силою можуть збігатися за часом. Необхідні товщини δ_0 при навантаженні тільки тиском і тільки еквівалентним осьовим навантаженням визначаються за формулами:

$$\delta'_0 = \frac{P_{max}R}{\sigma_b}; \quad \delta''_0 = \sqrt{\frac{T_{екв} - \pi R^2 P_{min}}{2\pi k E}} \quad , \quad (13.1)$$

де P_{max} і P_{min} – розрахункові значення тиску (максимальний і мінімальний тиск наддуву); $T_{екв} = T + 2M/R$ – розрахункова еквівалентна стискаюча сила, M – згинальний момент, T – осьова сила, R – радіус оболонки; σ_b і E – межа міцності і модуль пружності матеріала; k - коефіцієнт стійкості ($k=0,2\dots0,4$). Умовою раціональної, гладкої конструкції оболонок є $\delta'_0 \geq \delta''_0$. При $\delta'_0 \geq \delta''_0$ конструкція може бути гладкою лише при великій товщині листа.

Відмінною особливістю конструкції є потовщення кінцівки під зварювання на 40% внаслідок зниження міцності зварного шва в зоні зварювання (на 30% для АМгбНН по відношенню до АМгбМ і на 10% зниження σ_b самого АМгбМ для матеріалу шва). Зона впливу зварювання $l_{зак} = 3\dots7\delta_{зак}$ і залежить від типу зварювання (рис.31).

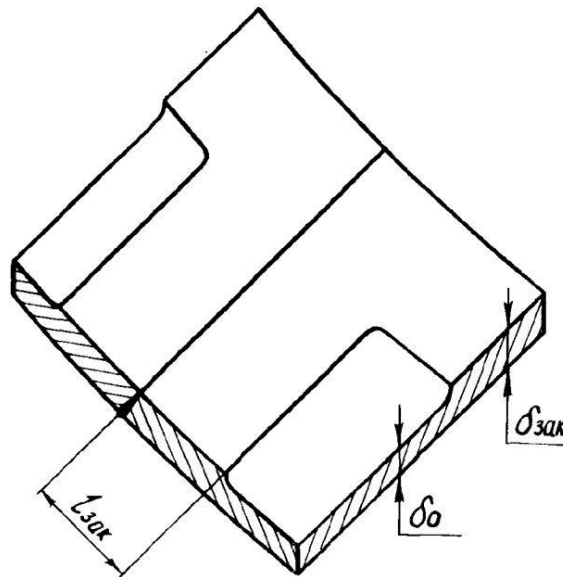


Рис. 31

В умовах комбінованого навантаження внутрішнім тиском і значними осьовими стискаючими силами найбільш ефективні вафельні оболонки. Переваги вафельних оболонок у часто розташованому силовому наборі, низькій чутливості до недосконалостей форми і можливості виготовлення їх з нагартованих сплавів АМг6Н і АМг6НН. Експериментально встановлено, що вафельні оболонки з різними видами орієнтації ребер рівнозначні по масі. На практиці найбільше поширення отримали оболонки з поздовжньо - кільцевими ребрами. Існують три основних методи виготовлення ребер: механічне фрезерування, електрохімічна обробка (ЕХО) і хімічне травлення. Найвища точність властива механічному фрезеруванню.

Оболонки, виконані методом ЕХО, поступаються за точністю мехфрезеруванню. Істотним недоліком ЕХО є складність рекуперації металу. Низька точність виготовлення і нераціональний профіль перетину ребер властивий методу хімічного травлення. Маса оболонок, виконаних хімічним травленням, більша, ніж виконаних мехфрезеруванням, на 15...30% за однакової несучої здатності.

Еквівалентна товщина вафельної оболонки при навантаженні осьовою силою (або еквівалентної осьовою силою) розраховується за формулою:

$$\delta_{\text{екв}} = \left| \frac{1,78}{1,48} \right| \sqrt{\frac{T}{2\pi k E \left(\varphi + \left| \frac{0,2}{-0,25} \right| \right)}} \quad , \quad (13.2)$$

де $\left| \frac{A}{B} \right|$ числовий коефіцієнт, $A=1,78$ при хімфрезеруванні, $B=1,48$ при мехфрезеруванні та ЕХО; φ – коефіцієнт ефективності підкреплення ($\varphi = H/\delta_0 = 6 \dots 8$), k – коефіцієнт стійкості ($k = 0,23 \dots 0,28$).

За знайденим значенням $\delta_{\text{екв}}$ визначається вихідна товщина $H = \varphi \delta_0$ і товщина обшивки $\delta_0 = (0,6 \dots 0,7) \delta_{\text{екв}}$.

Задача визначення параметрів клітинки $a \times b$ за критерієм мінімізації маси вафельної оболонки є оптимізаційною. Існує декілька різних способів оптимізації параметрів клітинки. В основу найбільш вживаного покладено критерій рівності стійкості

$$\sigma = \sigma_{\text{кр}}^0 = \sigma_{\text{кр.п}}^{\text{м}} = \sigma_{\text{кр.с}}^{\text{м}} \quad , \quad (13.3)$$

де σ – діючі напруження, $\sigma_{\text{кр}}^0$ – напруження загальної втрати стійкості, $\sigma_{\text{кр.п}}^{\text{м}}$ – напруження місцевої (у клітинці) втрати стійкості полотна і $\sigma_{\text{кр.с}}^{\text{м}}$ – напруження місцевої стійкості ребер (стрингера).

Для визначення діючих та критичних напружень використовуються наступні залежності:

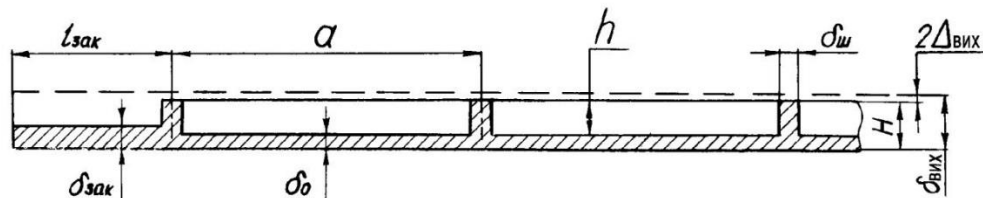


Рис. 32

$$\sigma = \frac{T}{2\pi R \delta_{\text{пр}}} ; \quad \sigma_{\text{кр}}^0 = \sqrt[k]{\frac{4ED_{\text{ш}}}{R^2 \delta_{\text{пр}}}} ; \quad \sigma_{\text{кр.п}}^{\text{м}} = \kappa_{\text{п}} E \left(\frac{\delta_0}{b} \right)^2 ; \quad \sigma_{\text{кр.с}}^{\text{м}} = \kappa_{\text{с}} E \left(\frac{\delta_{\text{с}}}{h} \right)^2$$

У формулах (13.4) $\delta_{пр} = \delta_0 + F_c/B$ - приведена товщина; E – площа поперечного перерізу стрингера (без обшивки); B – числовий коефіцієнт; $I_{ш}$ – момент інерції шпангоута спільно з приєднаною ділянкою обшивки шириною a ; k , $k_{п}$, k_c - коефіцієнти стійкості. У наведених формулах пов'язані шість конструктивних параметрів: δ_0 , δ_c , δ_m , a , b и h . Задача оптимізації вирішується за умови 13.3 і рівності $a=b$ (рис.32).

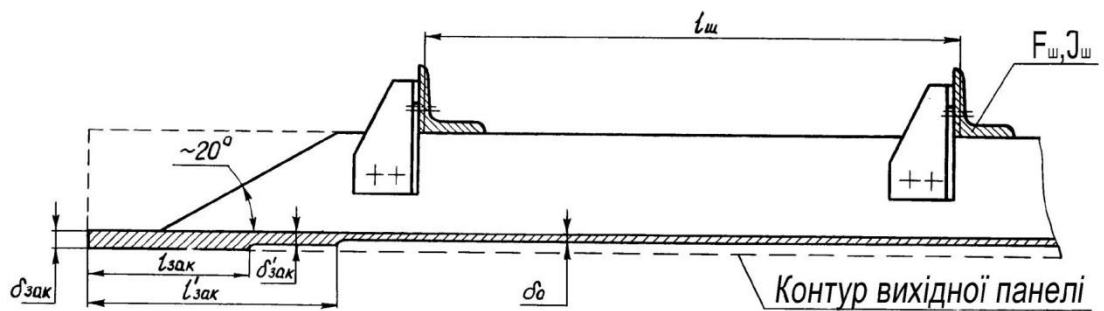


Рис. 33

Наряду з вафельною – широке застосування отримала панельно - стрингерна (панельна) конфігурація (рис.33). Переваги панельних оболонок у порівнянні з вафельними – простіше виготовлення і високий КВМ – коефіцієнт використання матеріалу. Недолік – виготовлення панелей тільки з «легких» сплавів, що обумовлено технологією пресування панелей з нагрітого до високої температури злитка. Звісно, що вага панельних оболонок вище вафельних.

При визначенні основних конструктивних параметрів панельної оболонки виходять з того, що на внутрішній тиск працює лише обшивка, а підкріплюючі ребра створюють спільно з обшивкою необхідну жорсткість при роботі на осьову стискаючу силу. Товщина обшивки δ_0 при тиску P і межі міцності σ_b знаходиться за формулою

$$\delta = \frac{PR}{\sigma}. \quad (13.5)$$

Для визначення параметрів панельної оболонки використовуються різні методики. Результати розрахунків по них в основному дають велику кількість стрингерів і шпангоутів невеликих розмірів, а схема їх постановки наближається до схеми вафельної оболонки. Тому на практиці на підставі технологічних і екологічних міркувань беруть $l_{ш} = 500...1000$ мм, $b = 100...250$ мм – відстань між стрингерами. Полкам стрингерів надають відносну висоту $\lambda = h/\delta_c = 7...10$.

Найбільш часто застосовується методика, побудована на умові рівності стійкості (13.3), де $\sigma_{кр}^0$ – критичні напруги загальної стійкості стрингера спільно з приєднаною ділянкою обшивки шириною "b" на довжині $l_{ш}$; $\sigma_{кр.с}^M$ – критичні напруження місцевої стійкості полиці стрингера, $\sigma_{кр.п}^M$ – критичні напруження місцевої стійкості полотна між стрингерами.

Для визначення діючих та критичних напружень використовуються наступні залежності:

$$\sigma = \frac{T}{F_c^\Sigma + 2\pi R\delta_0}; \quad \sigma_{кр}^0 = \frac{C\pi^2 EI_c^{пр}}{l_{ш}^2 F_c^{пр}}; \quad \sigma_{кр.с}^M = K_c E \left(\frac{\delta_0}{b} \right) + K E \frac{\delta_0}{R}; \quad \sigma_{кр.п}^M = K_n E \left(\frac{\delta_0}{h} \right)^2, \quad (13.6)$$

де F_c^Σ – сумарна площа поперечного перерізу всіх стрингерів (без обшивки); $F_c^{пр}, I_c^{пр}$ – площа і момент інерції поперечного перерізу стрингера спільно з приєднаною ділянкою обшивки шириною b ; C, K_n, K, K_c – коефіцієнти стійкості.

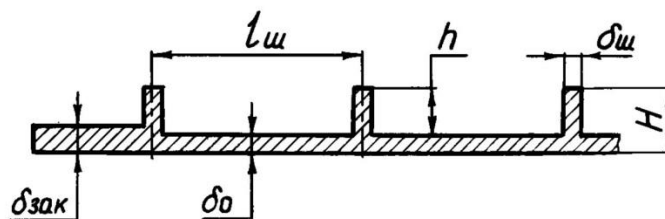


Рис. 34

Оболонки з кільцевими ребрами (шпангоутами) мають максимальну ефективність по масі в умовах навантаження зовнішнім тиском. Найбільш часто вони застосовуються в якості внутрішніх стінок торових баків і конструкції конічних днищ ємностей. Виготовляються оболонки з пресованих панелей шляхом згинання і зварювання, але більш часто ребра отримують шляхом точіння зварної обичайки вихідної товщини. У конструктивному відношенні оболонки з кільцевими ребрами досить прості (рис.34).

Ребра можуть розташовуватися і з внутрішнього і з зовнішнього боку обшивки. Зовнішнє розташування ребер спрощує виготовлення оболонки.

Методика вибору конструктивних параметрів $\delta_c, \delta_{ш}, h$ і параметра маси $\delta^{мас}$ циліндричної оболонки під тиском P зі шпангоутами прямокутної форми (виконаними спільно з обшивкою) заснована на критерії рівності:

$$P = P_{кр}^0 = P_{кр}^м, \quad (13.7)$$

де P – заданий розрахунковий тиск, $P_{кр}^0$ – критичний тиск загальної втрати стійкості, $P_{кр}^м$ – критичний тиск місцевої втрати стійкості (між шпангоутами). Розрахунковий тиск P з діючими σ пов'язаний залежністю

$$\sigma = \frac{PR}{\delta_{ш}^{пр}} = \frac{PR}{F_{пер}/L}, \quad (13.8)$$

у якій R – радіус оболонки, $\delta_{ш}^{пр}$ – приведена товщина: $\delta_{ш}^{пр} = \delta_0 + F_{ш}' / l_{ш}$; δ_0 – товщина обшивки; $F_{ш}'$ – площа перерізу одного шпангоута; $l_{ш}$ – відстань між шпангоутами; $F_{пер}$ – площа продольного перерізу оболонки (обшивки і шпангоутів); L – довжина оболонки.

Для визначення критичного напруження використовуються залежності:

$$P_{кр}^0 = 4\alpha \frac{\pi R}{l_{ш(n+1)}} K \left| \frac{E\delta_0^3}{12(1-\mu^2)3R^3} \right|^3 \left| \frac{E\delta_0}{R} \right|^{14},$$

$$P_{кр}^M = 4\alpha \frac{\pi R}{l_{ш}} \left| \frac{E\delta_0^3}{12(1-\mu^2)3R^3} \right|^3 \left| \frac{E\delta_0}{R} \right|^{14}, \quad (13.9)$$

де α – коефіцієнт закріплення країв оболонки, n – кількість шпангоутів, K – коефіцієнт збільшення циліндричної жорсткості гладкої оболонки з введенням шпангоутів. Для оболонки з рівновіддаленими шпангоутами однієї жорсткості

$$K = 1 + El_{ш} \frac{(n+1)}{L} \frac{12(1-\mu^2)}{E\delta_0^3}, \quad (13.10)$$

де $l_{ш}$ – момент інерції перерізу шпангоута спільно з приєднаною ділянкою обшивки шириною $l_{ш}$, μ – коеф. Пуассона ($\mu=0,3$), E – модуль пружності. З рівності $P_{кр}^0 = P_{кр}^M$ випливає $K=(n+1)$. При визначенні відстані між шпангоутами користуються формулою

$$P_{кр}^M = \frac{0,92 \cdot \nu E \delta_0^2}{l_{ш}} \sqrt{\delta_0/R},$$

де ν – коефіцієнти стійкості.

14. Конструювання розпірно-стикувальних шпангоутів.

Розпірно-стикувальні шпангоути з'єднують днища і стінки баків, забезпечують міцність та стійкість і служать для стикування з сусідніми стінками. Просто розпірні не несуть функції стикування.

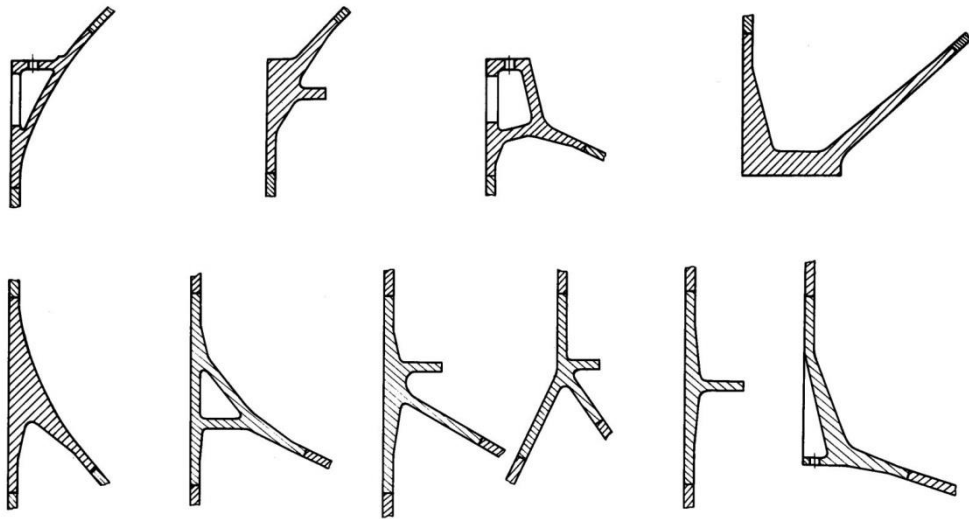


Рис. 35

Основні конструктивні відмінності шпангоутів обумовлені характером їх роботи - на міцність, на стійкість від внутрішнього тиску в баках. При дії тиску шпангоут стиснутий, а днище випукле; або розтягнутий, якщо днище ввігнуте (рис.36). У першому випадку шпангоути виконуються пустотілими (рис.36а) і суцільного перерізу у другому (рис.36,б) як більш технологічні і дешеві. Основною вимогою до шпангоутів є рівність моментів $S_1C_1=S_2C_2$ при рівнодіючій силі, що проходить через центр мас шпангоута.

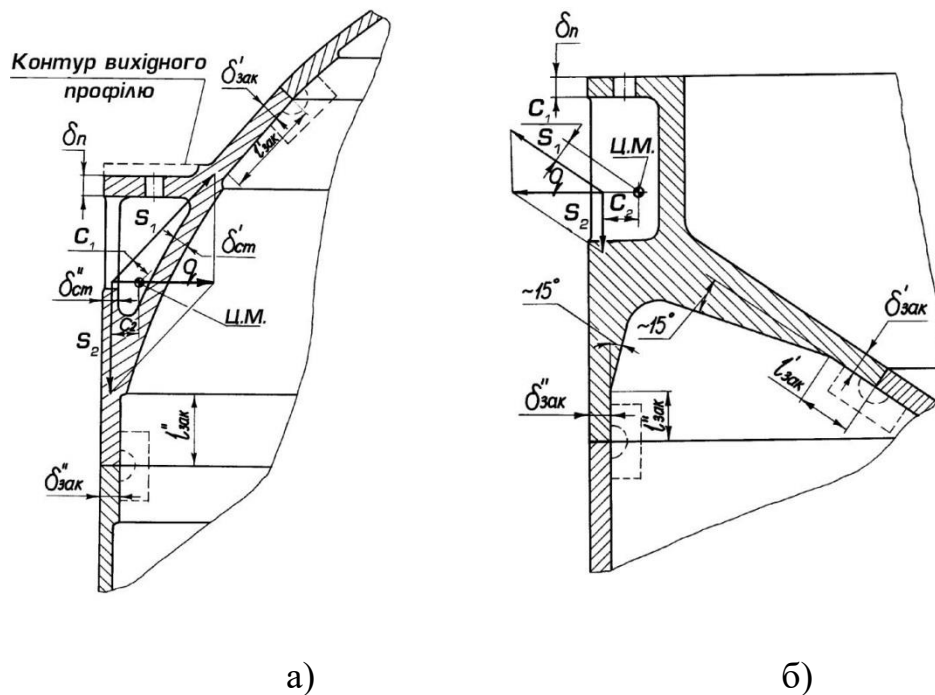


Рис. 36

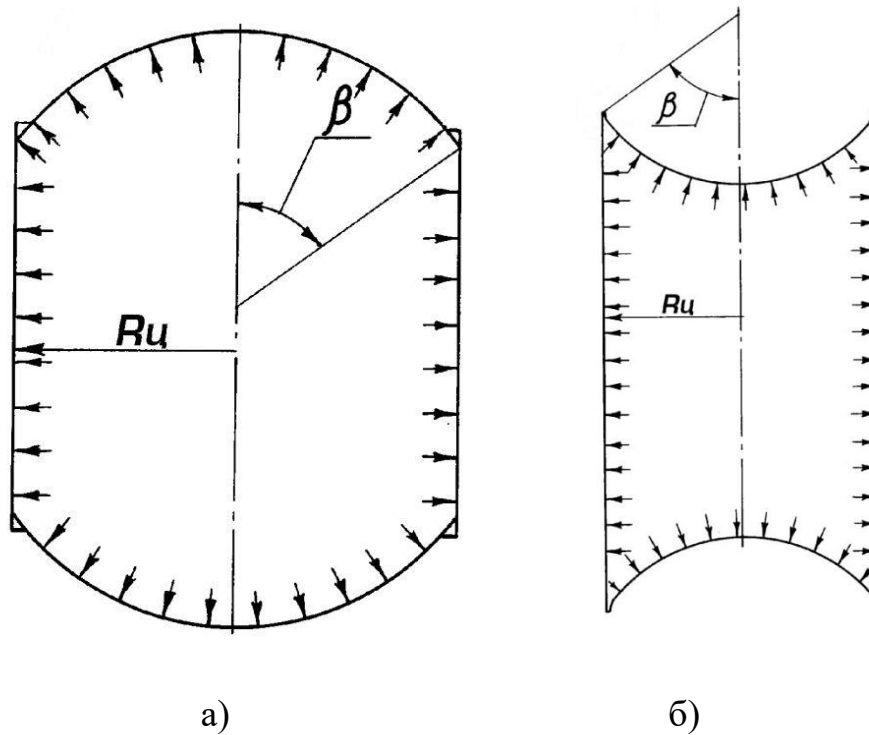


Рис. 37

Зусилля S_1 і S_2 визначаються за формулами

$$S_1 = \frac{PR_4}{2 \sin \beta}; \quad S_2 = \frac{PR_4}{2}, \quad (14.1)$$

де β – кут піврозчину сферичного днища.

Необхідна площа розпирного шпангоута (без закінцівок) визначається за формулою

$$F_{\text{ш}} = \frac{PR_{\text{ц}}^2}{2[\sigma] \tan \beta},$$

де $[\sigma] = \sigma_{\text{T}} = \sigma_{0,2}$ – допустиме напруження на стискання і $[\sigma] = \sigma_{\text{В}}$ – при розтягуванні.

Кут β залежить від $R_{\text{сф}} = (1,2 \dots 1,5)R_{\text{ц}}$. Необхідний момент інерції шпангоута оцінюється за формулою

$$I_{\text{ш}} = \frac{qR^3}{3E}. \quad (14.3)$$

Товщина стінок шпангоута визначається з несучої здатності на внутрішній тиск і осьову стискаючу або розтягуючу силу. Розміри вікон в шпангоутах (а х в) для стикування і відстань між ними визначається міцністю стику і зручністю монтажу кріпильних елементів. Герметичність проміжних днищ при стикуванні з розпірними шпангоутами забезпечується замковими швами (рис.38,а,б), виконаними в тілі шпангоута а), або з використанням стаціонарної підкладки б).

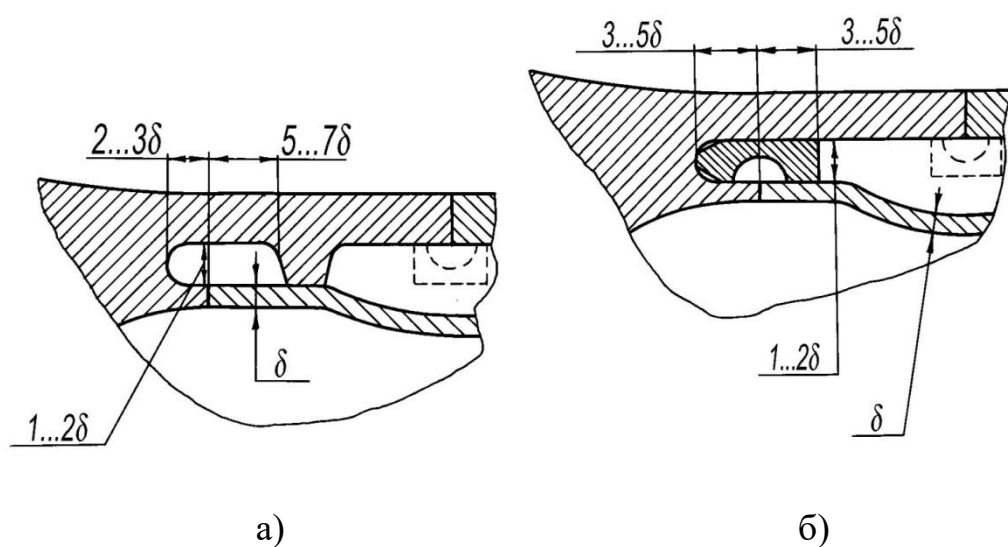


Рис. 38

15. Конструювання внутрішньобакових пристроїв і вузлів кріплення арматури.

Паливні баки окрім силових елементів містять внутрішньобакові пристрої, зовнішні конструктивні надбудови, зовнішню і внутрішню арматуру систем ТКС. До їх числа відносяться витратні трубопроводи, забірні пристрої, демпфери коливань палива, сигналізатори систем контролю рівня (СКР) при заправці, датчики систем одночасного випорожнення баків (СОВБ), заправочно-зливні та дренажно-запобіжні клапани, елементи

системи наддуву, реле системи контролю тиску (СКТ) і системи контролю загазованості (СКЗ), сопла газо-реактивної системи (ГРС) гальмування ступенів, люки-лази, жолоби бортової кабельної мережі (БKM) і пневмогідросистеми (ПГС).

Установка на баках елементів різних систем і пристроїв здійснюється двома основними конструктивними способами: через відбортовки і вварювальні фланці (рис.39,а,б), а також через комірці, як різновид відбортовки (рис.39.в).

Наявність отворів у силових оболонках вимагає компенсації послаблень шляхом окантовки додатковим матеріалом. За принципом рівності міцності видалений метал з оболонки в місці отвору розміщується в окантовці у вигляді посилення.

Для $d > 200...300$ мм метод відбортовки вимагає товстих заготовок і не є раціональним. Для зазначених d застосовують вварювальні фланці. Вварювальні фланці застосовують і для $d < 20...30$ мм із-за складності відбортовки при малих діаметрах отворів.

На циліндричних і конічних поверхнях установка фланців ускладнюється «сідлом» отворів. Для ліквідації «сідла» застосовується підбортовка.

Витратні трубопроводи встановлюються в самій нижній точці днища для забезпечення мінімуму незабору палива. Для забезпечення герметичності небажано використовувати фланцеві з'єднання трубопроводів. Зварні з'єднання в даному відношенні більш надійні.

Для з'єднання алюмінієвих трубопроводів зі сталевими трубами двигунних установок використовуються біметалічні перехідники. Забезпечення герметичності передбачає розташування магістрального трубопровода в тунельному. Теплове переміщення конструкції бака і тунельного трубопроводу компенсується сильфоном, а стійкість тунельного

трубопроводу від зовнішнього тиску компонента по двигунах здійснюється через колектор.

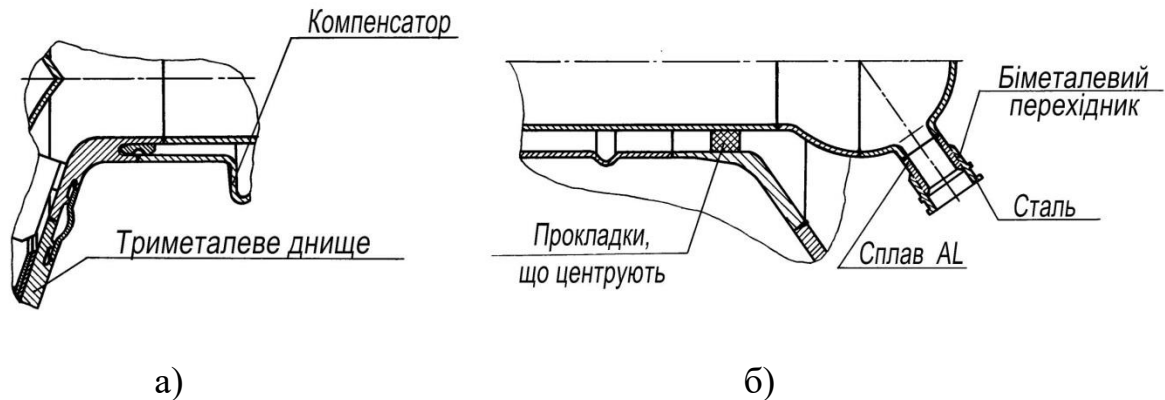


Рис. 40

Стиковка тунельного трубопроводу і варіант конструкції магістрального трубопроводу показаний на рис.40: а) – з'єднання при триметалевому проміжному днищі; б) – колектор.

Забірні пристрої призначені для забезпечення безвихрового протікання компонента до забірної патрубку трубопроводу і виключення утворення воронки з попаданням газів наддуву в ТНА. Виконання зазначених вимог досягається установкою над витратними отворами плоских, конічних або профільованих тарелей; усунення закрутки компонента – за допомогою радіальних ребер (рис.40,а); відокремлення місця забору – кільцевими перегородками з перфорацією віддаленою від місця забору (рис.41). На рис.42 схематично показано ще два варіанти забору: а) - за допомогою вигнутого трубопроводу; б) - з торового бака. Демпфуючі пристрої призначені для гасіння динамічних коливань рідини в баках і зниження динамічних навантажень на конструкцію.

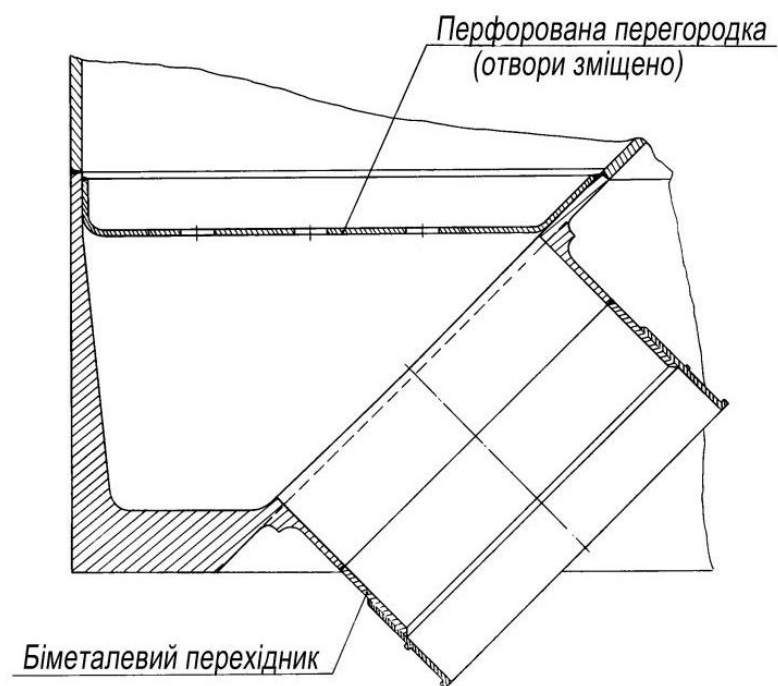


Рис. 41

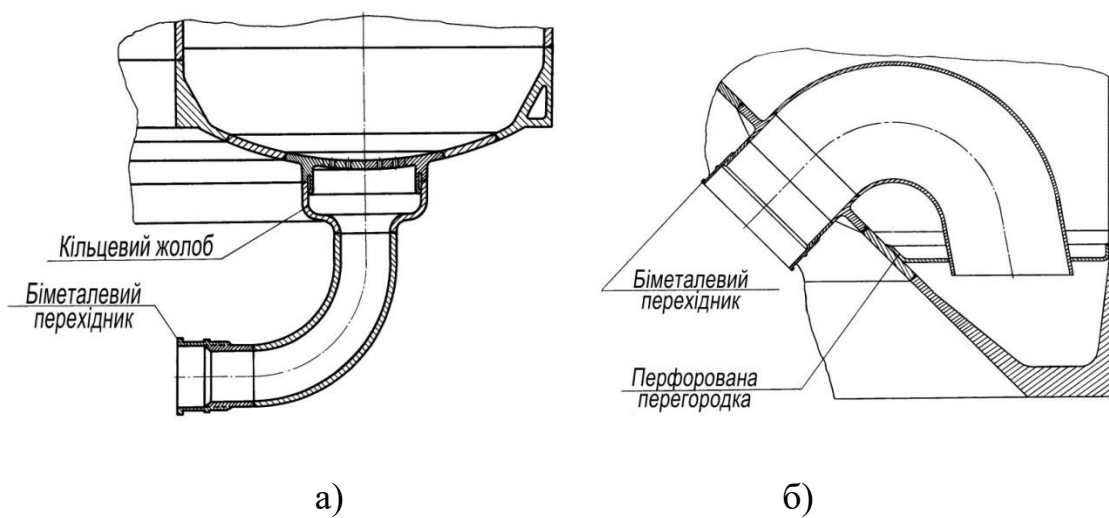


Рис. 42

Коливання рідини поділяють на поперечні і поздовжні. Для їх гасіння використовують поздовжні (зазвичай плоскі) і поперечні (плоскі, конічні або сферичні) перегородки - демпфери. Поздовжні працюють у польоті при обертанні щодо центру мас, поперечні - на старті при фіксованому рівні рідини (рис.43). Поздовжні демпфери знаходяться в рідині, вони не зазнають великих навантажень і виконуються тонкими.

Поперечні демпфери навантажені динамічним тиском стовпа рідини і є силовими. Принципи їх конструювання аналогічні тим, що й для силових елементів баків.

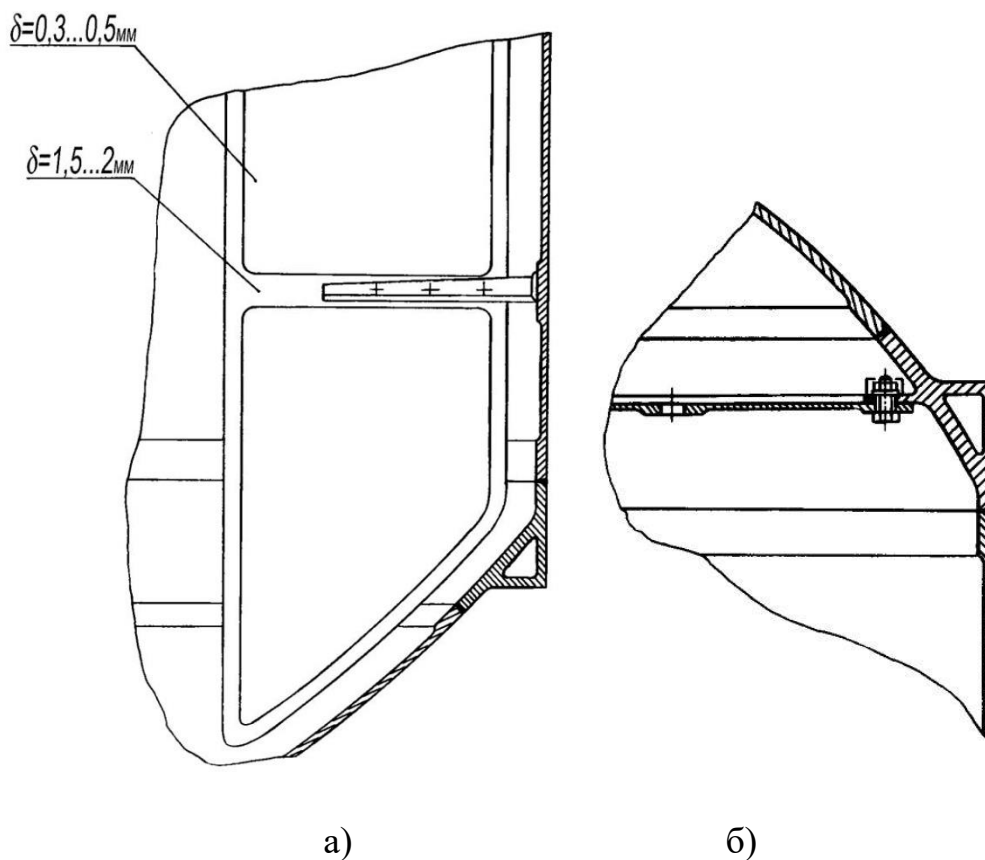


Рис. 43. а) конструкція повздовжнього демпфера; б) – поперечного демпфера.

Конструкції розпилювачів наддуву залежать від типу використовуваної системи наддуву, місця установки і форми бака. З безлічі систем наддуву - випарної, газобалонної, газогенераторної, з використанням продуктів розкладання допоміжних або згоряння основних компонентів - остання знайшла найбільш широке застосування в якості польотної системи наддуву (СН).

При газогенераторній СН для зменшення температури газу в бак окислювача подається газогенераторний газ з надлишком окислювача, а в бак пального з надлишком пального. При цьому температура газів в обох випадках досягає $450-700^{\circ}\text{C}$. Розпилювачі оберігають від попадання гарячого

струменя на компонент або на конструкцію. Цим вони захищають конструкцію від нагрівання і сприяють рівномірному нагріванню поверхні рідини та зменшують величину незабору. Типові схеми розпилювачів наведено на рис.44. Розпилювачі виготовляються з тепло і корозійно-стійких сталей. До баків розпилювачі приварюються через біметалеві перехідники. При холодних системах наддуву газ подається через штуцер.

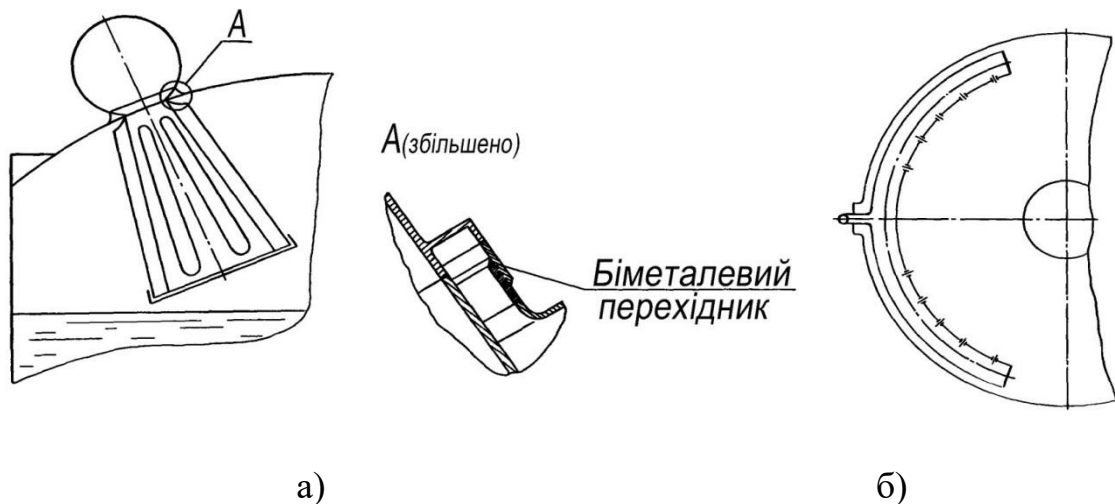


Рис. 44. Принципова схема розпилювачів наддуву: а) на верхньому днищі; б) на циліндрі торового баку.

Для запобігання руйнування баків від надмірного наддуву при старті і в польоті, для дренажу при заправці і зливі компонентів палива, а також для скидання тиску в нерезимних ситуаціях використовуються дренажно-запобіжні клапани. Зазвичай вони розташовуються в незалитій частині бака (рис.45). Відбортівка, а отже установка ДЗК може бути як зовнішньою, так і внутрішньою. На баці можуть встановлюватися один загальний або декілька роздільних за призначенням клапанів (аварійний, запобіжний, дренажний).

Газореактивна система (ГРС) поділу ступенів призначена для створення гальмівного імпульсу ступенів. Типовий пристрій бакових елементів ГРС показаний на рис.46.

Установка люка-лазу диктується необхідністю закінчення складальних робіт при виготовленні бака та монтажу арматури. Розміщення люка-лазу на циліндричних або конічних оболонках ускладнена наявністю «сідла» із-за різної кривизни в осьовому і кільцевому напрямках оболонки. Підбортовка в цьому випадку неможлива через велику величину діаметра люка. Кришки люків-лазів зазвичай сферичної форми і можуть бути опуклими і увігнутими залежно від компонування. З'єднання кришки люка з фланцем здійснюється болтами або шпильками.

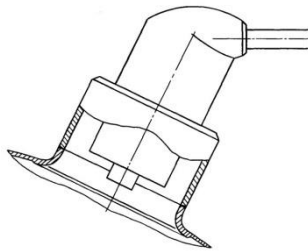


Рис. 45

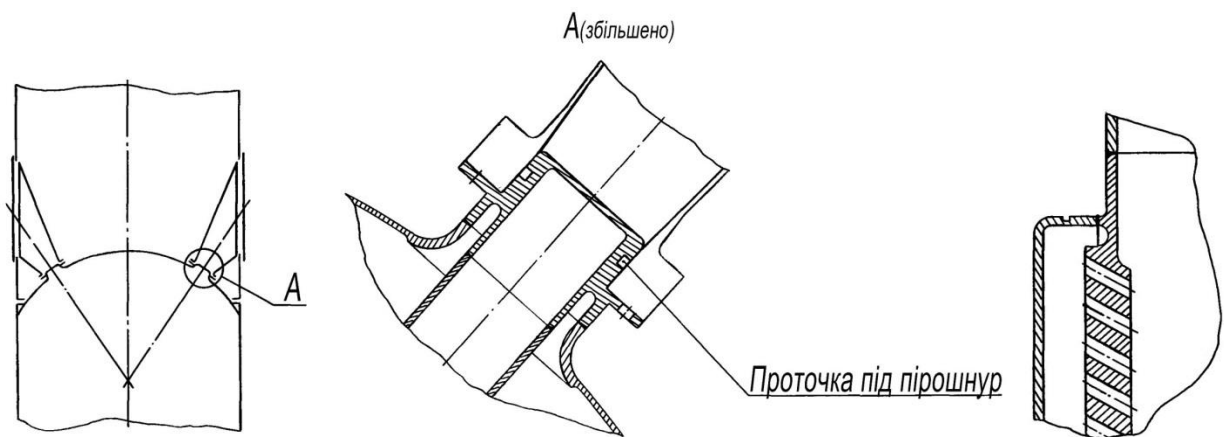


Рис. 46. ГРС: а) на днищі; б) на циліндричній частині

Герметичність з'єднання забезпечується спеціальною прокладкою з м'якого алюмінію і герметизуючою накладкою, привареною встик з використанням замкових швів. У конструкції замкових швів передбачається можливість повторної установки герметизуючої накладки.

Типова конструкція люка-лазу показана на рис.47.

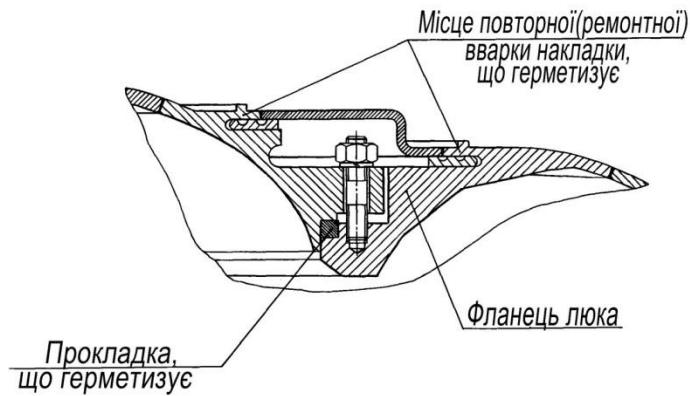


Рис. 47

Для розміщення і захисту від зовнішніх впливів бортової кабельної мережі (БКМ) і трубопроводів пневмогідросистеми (ПГС) служать жолоби. Вони можуть розташовуватися як зовні, так і всередині бака. При розташуванні зовні зазвичай передбачається два діаметрально протилежних жолоби: один - для БKM, інший - для ПГС. Монтаж БKM і ПГС проводиться після складання ступенів, тому кришки жолобів виконуються з'йомними (рис.48). На рис.48: 1 - кронштейни для кріплення кришки жолоба; 2 - місце постановки анкерної гайки для кріплення кришки; 3 - кришка жолоба.

Висота жолоба вибирається мінімальною з можливих для розміщення елементів БKM або ПГС і лежить у межах 50...100мм.

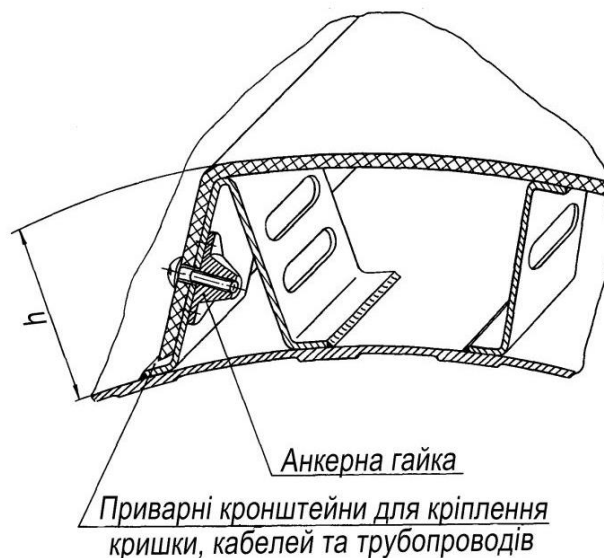


Рис. 48

В якості конструкційного матеріалу кришок жолобів використовуються склопластики або алюмінієві сплави з теплозахисним покриттям.

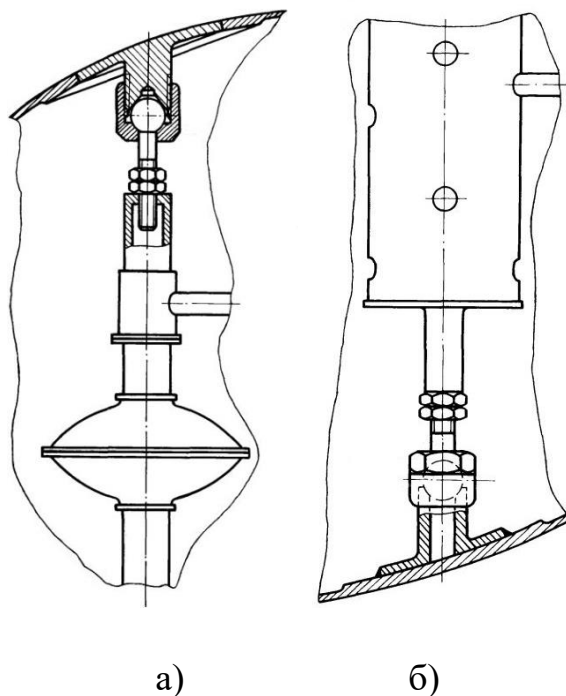


Рис. 49. а) установка СКР; б) установка СООБ

Установка сигналізаторів систем контролю рівня (СКР) і датчиків системи одночасного випорожнення баків здійснюється з урахуванням можливості просторового переміщення вздовж осі (по висоті стовпа рідини) і по куту установки. Вимоги до встановлення СКР і СООБ виконуються шляхом використання шарнірних вузлів зі сферичними п'ятами і регулюючих нарізних гвинтів рис.49. Фіксація сигналізаторів і датчиків в радіальному напрямку виконується розтяжками. Розтяжки кріпляться на приварних кронштейнах або на ребрах оболонок.

Установка гермовиводів сигналізаторів здійснюється на днищах або стінках баків через вварювальні фланці.

Важливе місце в конструюванні баків займають питання герметичності. Ці питання вирішуються вибором матеріалів, заміною роз'ємних з'єднань назварні, використанням замкових швів, застосуванням багатошарових днищ, додатковою герметизацією і неруйнівним контролем зварних швів, обмеженням мінімальної товщини стінок ($\delta_{\min} = 1,0 \dots 1,2$ мм), герметизацією арматури, застосуванням високочутливих методів контролю.

16. Призначення сухих відсіків. Склад і конструкція силових елементів клепаних відсіків.

Сухими називаються відсіки без компонентів палива. До сухих відсіків відносяться перехідні, приладові, хвостові відсіки та головні аеродинамічні обтічники.

Перехідні відсіки з'єднують баки, ступені і корпуси останнього ступеню з головною частиною або обтічником. Приладові служать для розміщення в них апаратури систем керування. У хвостових відсіках компонується двигун і органи керування. Хвостові відсіки виконують стартові функції і захищають двигун від зовнішніх впливів.

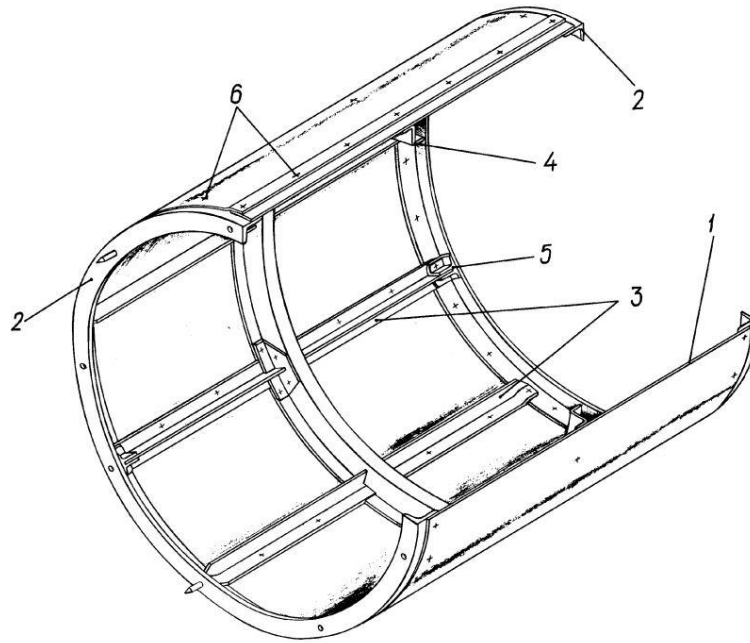


Рис. 50

Аеродинамічні обтічники надають аеродинамічну форму ТКС і захищають корисний вантаж від зовнішніх впливів.

Вихідними даними для конструювання сухих відсіків є: геометрична форма і розміри, призначення та умови функціонування відсіків (скидаються чи ні, герметичні або негерметичні, тощо). Загальною вимогою для всіх сухих відсіків є забезпечення мінімуму маси конструкції.

Найбільше поширення отримали металеві відсіки клепаної конструкції (стрингерні). У якості перехідних відсіків використовують також фермові відсіки та відсіки з композиційних матеріалів.

У загальному випадку клепаний відсік (рис.50) містить тонкостінну оболонку 1, торцеві стикувальні шпангоути 2, поздовжній (стрингери або лонжерони) 3 і поперечний (шпангоути) силовий набір 4, з'єднувальні елементи (фітинги, накладки) 5 і кріплення (заклепки, гвинти) 6. Клепані відсіки порівняно зі зварними більш складні в конструктивному відношенні і більш трудомісткі у виготовленні, але більш ефективні по масі. В якості конструкційного матеріалу застосовуються погано зварювані, але міцні

сплави Д16, Д19 і В95. Ці матеріали мають стійкі характеристики в часі і при підвищенні температури до $200...250^{\circ}\text{C}$. До недоліків слід віднести низьку деформованість навіть при нагріванні.

Обшивка надає необхідну аеродинамічну форму і служить для сприйняття переважних перерізуючих сил і крутних моментів. Разом із силовим набором обшивка працює на осьові сили, згинальний момент і зовнішній тиск. При відсутності теплозахисного покриття використовуються для обшивки сплави Д16АТ і Д19АТ. Ці сплави відрізняються високою міцністю і теплостійкістю.

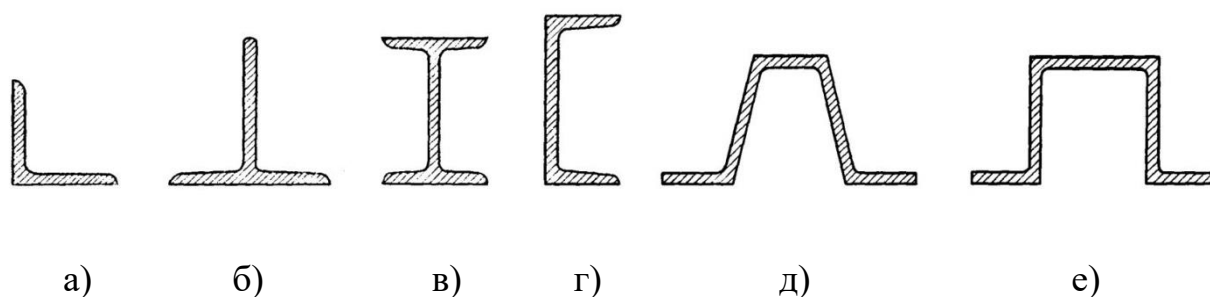


Рис. 51

Поздовжній набір (стрингери, лонжерони) сприймають в основному осьові стискаючі і розтягуючі сили. Несуча здатність силового набору забезпечується вибором профілів з великими моментами інерції. Форми перерізів відрізняються великим розмаїттям (рис.51). На практиці широке застосування знайшли куточки і таври (а,б), а для високонавантажених відсіків коробчаті (д,е) профілі, що відрізняються високими критичними напруженнями загальної і місцевої втрати стійкості. Профілі, як правило, виготовляються пресуванням. В якості матеріалу використовуються високоміцні сплави Д19Г і В95 Т1.

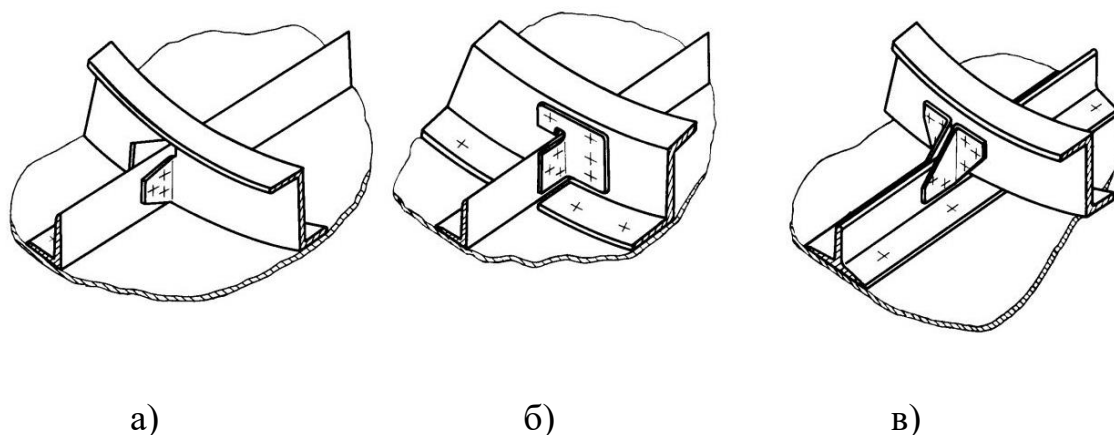


Рис. 52

Встановлення проміжних шпангоутів зменшує розрахункову довжину стрингерів і підвищує критичні напруження загальної втрати стійкості. Шпангоути також ефективно працюють при навантаженні зовнішнім тиском. Можуть застосовуватися шпангоути різної форми перерізу. Найбільш уживані Z - образні профілі. Такі профілі отримують вигином або штампуванням листової заготовки з матеріалів Д16Т, Д19АТ або АМг6М. Шпангоути звичайно прикріплюються (приклепуються) безпосередньо до обшивки. При цьому в місцях проходження стрингерів вони часто прорізаються (рис. 25,а,б). Рідше використовуються навісні (рис.52,в), поверх стрингерів, шпангоути. З'єднання стрингерів і шпангоутів здійснюється через накладки. Накладки одночасно відіграють роль підсилювачів в місцях вирізів шпангоутів під стрингери.

Торцеві стикувальні шпангоути призначені для передачі зусиль і з'єднання відсіків, тому їх конструктивний вигляд визначається типом стику. Для поширених болтових з'єднань фланцевого типу використовуються торцеві шпангоути Г - образного перетину. Подібні шпангоути отримують шляхом згинання пресованих профілів з сплаву Д16Т. Конструкція вузла з'єднання торцевого шпангоута із стрингером залежить від навантаження. При малих зусиллях згинальна жорсткість стикувальної полиці шпангоута

достатня для їх сприйняття і стрінгер приклепується прямо до полиці шпангоута (рис.53,а).

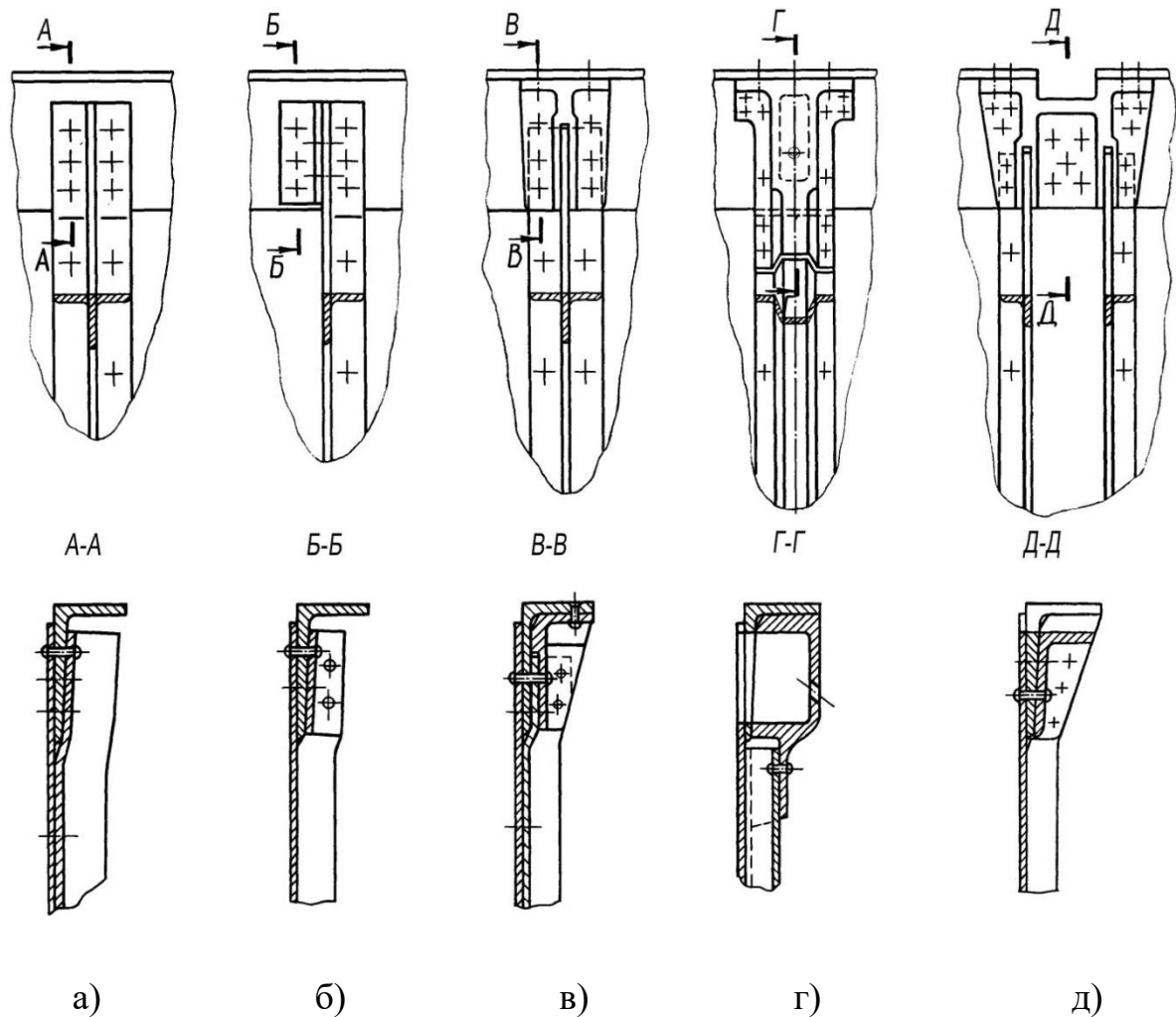


Рис. 53

Іноді при цьому використовується посилююча накладка (рис.53,б). При значних зусиллях для збільшення жорсткості застосовуються фітинги (рис.53. в, г. д). Фітинги підкріплюють шпангоут і передають зусилля на стрінгер без вигину. У варіанті д) показаний фітинг, виконаний заодно зі стрінгером. Фітинги мають найрізноманітніші форми. Вибір конфігурації фітинга залежить від його призначення, форми і розмірів стрингера і стиковального шпангоута. У фітингах розміщуються елементи стикування із суміжними відсіками. Фітинги використовуються для посилення вирізів в

стикувальних шпангоутах під установку опорних башмаків ферм. Виготовляються фітинги штампуванням з алюмінієвого сплаву АК6.

17. Визначення конструктивних параметрів "сухих" відсіків.

Оптимізація конструктивних параметрів «сухих» відсіків є складовою частиною процесу конструювання. Досконалість клепаних відсіків визначається конструктивними матеріалами, кількістю, формою та площею перерізу силового набору, товщиною обшивки, способом з'єднання конструктивних елементів в єдине ціле.

Критерієм досконалості конструкції «сухих» відсіків є принцип рівності, коли робочі напруження σ дорівнюють:

$$\sigma = \sigma_{кр}^0 = \sigma_{кр.с}^м < \sigma_T(\sigma_{0,2}). \quad (17.1)$$

Еквівалентне осьове навантаження сприймає силовий набір з приєднаною обшивкою, тому допускається втрата стійкості обшивки. У підсумку може бути зменшена товщина обшивки до $\delta_0 = 1...2$ мм, що дозволяє знизити масу відсіку. Розрахункова схема відсіку зводиться до умовно ізольованих стрижнів з приєднаною обшивкою. Для кожного такого стрижня (стрингера) умовами міцності будуть: міцність на стиск, загальна і місцева втрата стійкості.

Умова міцності записується у вигляді:

$$\sigma = \frac{T_{екв}}{F_c^{\Sigma} + F_0^{\Sigma}} \leq [\sigma], \quad (17.2)$$

де $T_{екв} = T + 2M/R$ – розрахункова сила, що діє на відсік; $F_c^{\Sigma} = nF_c$ – сумарна поперечна площа n стрингерів; F_0^{Σ} – сумарна площа ділянок обшивки, що працюють спільно зі стрингерами.

$$F_0^Z = nF_0' = \left\{ \begin{array}{l} n v_{np} \delta_0 - \text{для однорядних} \\ n(v_{np} + v_1) \delta_0 - \text{для двурядних} \end{array} \right\} \text{клепаних швів.} \quad (17.3)$$

У формулі 17.3 n – кількість стрингерів, v_{ap} – ширина приєднаної ділянки обшивки – $v_{np} = 40\delta_0$, v_1 – відстань між рядами заклепок, δ_0 – товщина обшивки.

Умова загальної стійкості записується у вигляді:

$$\sigma_{кр}^0 = \frac{C\pi^2 EI_c}{l_{ш}^2 (F_c + F_0')} \geq \sigma, \quad (17.4)$$

де C – коефіцієнт стійкості, $C \approx 2$, E – модуль пружності матеріалу стрингера, $l_{ш}$ – відстань між шпангоутами (розрахункова довжина).

Умова місцевої втрати стійкості полиць і стінок стрингера має вигляд:

$$\sigma_{кр}^M = KE \left(\frac{\delta}{h} \right)^2 \geq \sigma,$$

де K – коефіцієнт стійкості (враховує характер закріплення країв); δ, h – товщина та висота полиці (або стінки) стрингера.

Необхідний момент інерції перерізу шпангоута (проміжного) $I_{ш}$ визначається за формулою:

$$\Gamma = \left(\frac{R}{l_{ш}} \right)^3 \frac{R}{b} \frac{E_c I_c}{E_{ш} I_{ш}}; 20 \leq \Gamma \leq 80, \quad (17.6)$$

де E_c , $E_{ш}$ – модулі пружності матеріалу стрингера і шпангоута, R – радіус оболонки, b – ширина смуги між стрингерами.

Площа поперечного перерізу шпангоута $F_{ш}$ підбирається за $I_{ш}$. Для z -образних профілів справедливо:

$$F_{ш} = \sqrt{\frac{l_{ш}}{\alpha}}; \alpha = 1,5 \dots 1,9. \quad (17.7)$$

Порівняння вафельної, панельної і стрингерної конструкції за масою дає приблизно однаковий результат. За інших умов клепа́на конструкція більш оптимальна.

18. Особливості конструювання клепаних перехідних, приладових і хвостових відсіків.

Перехідні відсіки можуть містити додатково елементи системи поділу ступенів і відділення корисного вантажу, вузли кріплення елементів комплектуючих систем (системи управління, ПГС - пневмогідросистеми і т. п.).

Елементами системи поділу можуть бути піроболти (ПБ), подовжені кумулятивні (ПКЗ) або детонуючі подовжені заряди (ДПЗ), механічні замки.

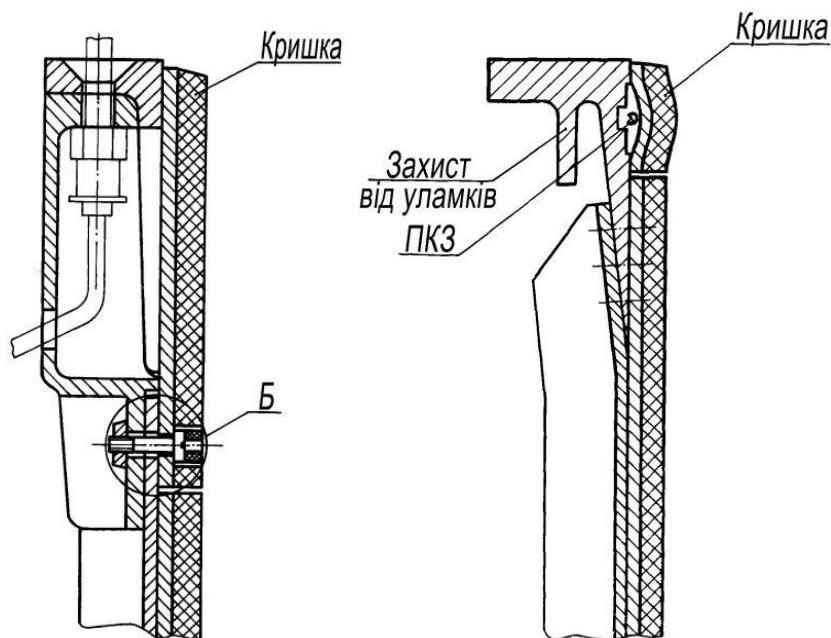


Рис. 54. а) – установка піроболта; б) – установка ДПЗ

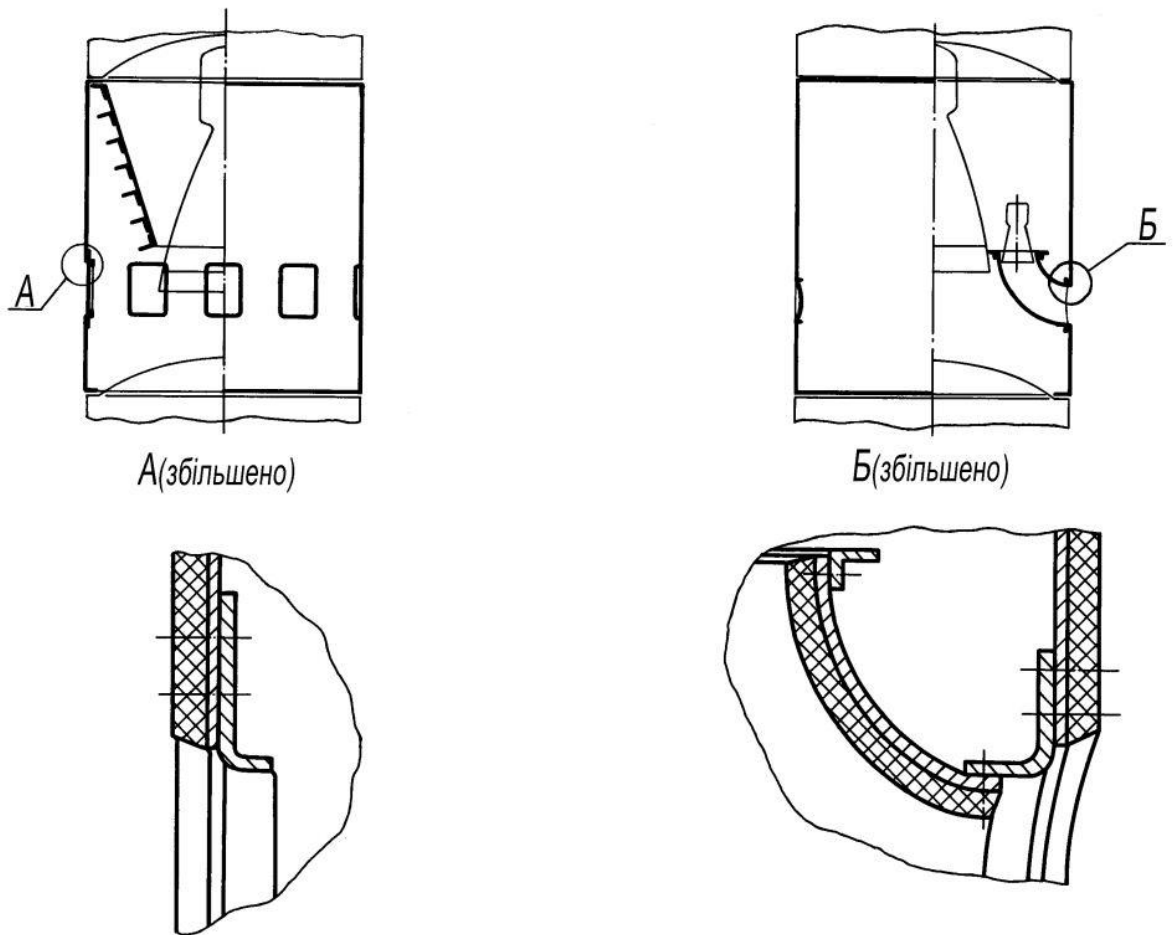


Рис. 55. а) – вікна; б) - газоводи

Установка ПКЗ (ДПЗ) здійснюється в канавках стикувального шпангоута. Наявність фітингів для з'єднання стрингерів зі шпангоутами істотно ускладнює установку ПКЗ. Для захисту систем всередині відсіку від осколків передбачається захист - перешкода. Зазвичай вона виконується спільно з шпангоутом.

Для відведення газів двигунної установки із порожнини перехідника при гарячому поділі передбачаються спеціальні вікна в нижній частині відсіку (у випадку запуску маршового двигуна) і газоводів (при запуску рульових двигунів під час холодного поділу). Вікна і виходи газоводів виконуються між стрингерами і посилюються окантовкою (рис.55). На внутрішню поверхню газоводу може наноситись ТЗП. Для запобігання впливу на верхній ступінь, що відділяється, газів двигуна в перехідному

відсіку передбачаються газо-відбиваючі конуси(рис.55,а). Частину приладів або шаробалонів встановлюють на кронштейнах або ложементах, приклепаних до силового набору (рис.56).

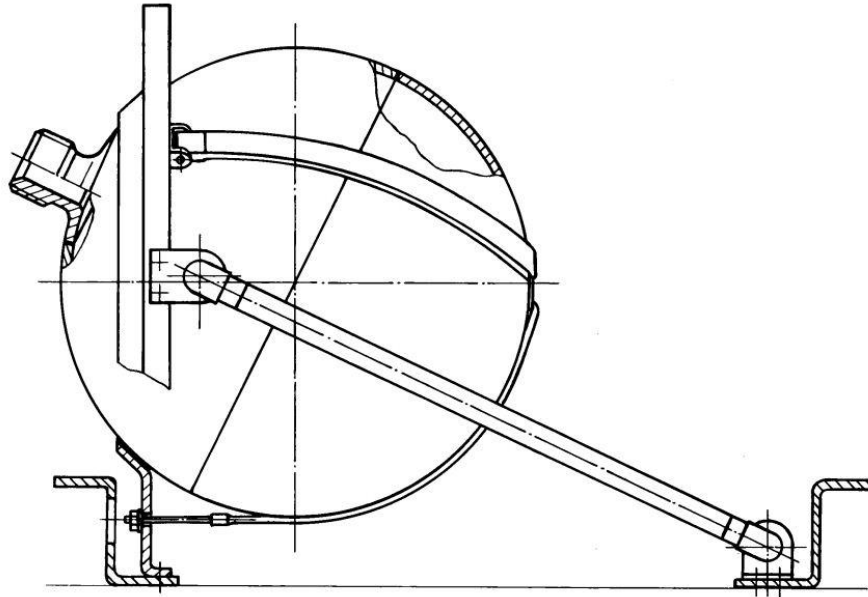


Рис. 56

Конструктивні відмінності приладових відсіків обумовлені доробками під установку приладів системи керування і кабелів, наявністю люків для обслуговування приладів, прицілювання і плат штепсельних роз'ємів бортової кабельної мережі (БKM).

Прилади встановлюються на кронштейнах, на силовому наборі і з комбінацією попередніх способів (рис.57) . Прилади кріпляться через амортизатори для зменшення дії вібронавантажень (рис.57). Кріплення кабелів або джгутів кабелів здійснюється через "ліри"?, або за допомогою гнучких металевих хомутів.

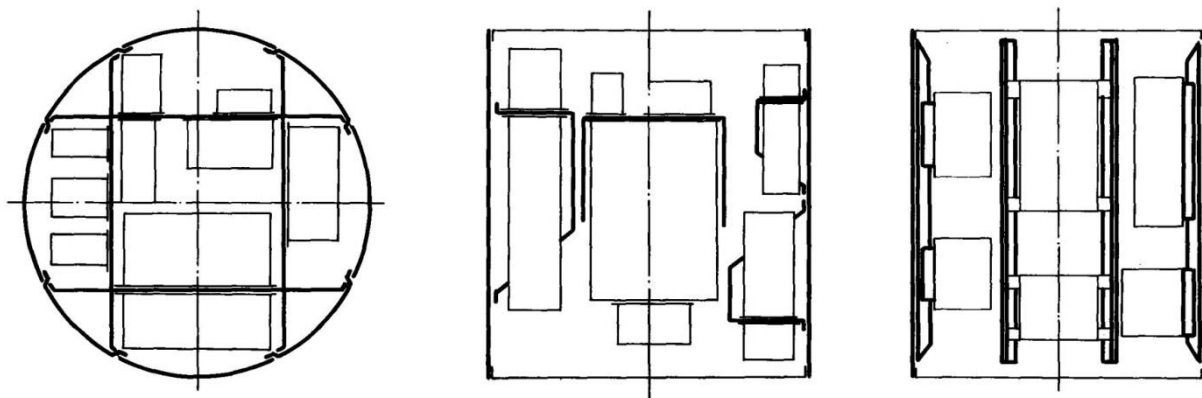


Рис. 57 а) - кріплення приладів на рамі; б) - на кронштейнах; в) - на силовому наборі

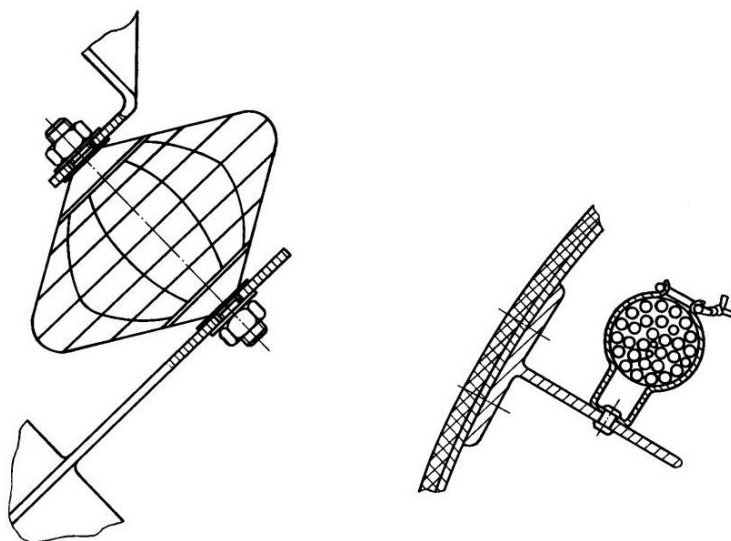


Рис. 58. а) – кріплення приладів; б) – кріплення кабелів.

До гіростабілізуючої платформи (ГСП) системи керування пред'являються високі вимоги по точності розміщення (по висоті і куту), а також за діапазоном власних коливань. ГСП встановлюється на спеціальну раму з певною частотою власних коливань. Вісь ГСП бажано поєднувати з віссю ракети.

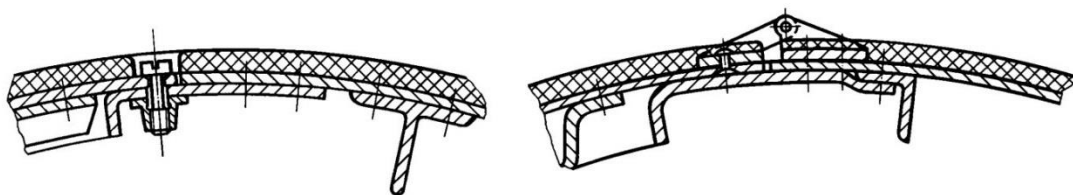


Рис. 59. а) – кришка, що знімається; б) – кришка, що відкидається.

Для приладового відсіку характерна наявність великого числа люків. Прорізи люків посилюються окантовкою і закриваються кришками. Кришки можуть бути з'йомними й відкидними на петлях. Кріплення кришок здійснюється гвинтами з використанням анкерних або плаваючих гайок (рис. 59). Кришки виконуються з листового матеріалу з внутрішнім підкріпленням ребрами або гофрами. Можуть застосовуватися неметалеві кришки.

Хвостові відсіки крім основних можуть виконуватися і з функціями перехідних відсіків. Хвостові відсіки першого ступеню можуть залишатися на старті.

Особливостями конструкції хвостових відсіків є наявність посиленого силового набору і доопрацювань під органи керування, установку двигуна, деяких вузлів ПГС. На рис. 60 показано доопрацювання хвостового відсіку під установку рульових двигунів.

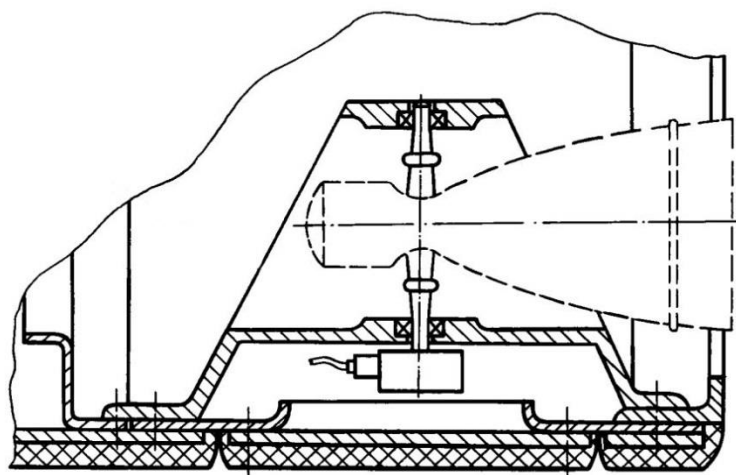


Рис. 60

Підвищення несучої здатності силового набору хвостового відсіку у місцях докладання значних зусиль досягається шляхом збільшення числа стрингерів в поєднанні з застосуванням потовщеної обшивки, або використання більш потужних профілів.

19. Конструювання головних аеродинамічних обтічників

Аеродинамічні обтічники (АО) являють собою особливий клас «сухих» відсіків. Форма АО впливає на аеродинамічні характеристики ТКС

і через них на енергетичні. Функціональна задача АО закінчується після проходження щільних шарів атмосфери і при поділі першого та другого ступенів відкидається. На відміну від перехідних та інших сухих відсіків головним критерієм для АО є не мінімум маси, а максимальне значення енергетичного показника.

Конструкція обтічника значною мірою залежить від прийнятої схеми скидання. Обтічники можуть скидатися цілком або по частинах, шляхом поздовжнього поділу на стулки, їх розворотом або стягуванням вперед по ходу ТКС з подальшим відведенням в сторону. Скидання АО здійснюється за межами атмосфери на висотах 80...100 км в процесі розділення ступенів, тобто в момент відсутності значних перевантажень. При поділі АО на стулки простіше вирішується завдання безударного відведення, але наявність поздовжнього стику знижує несучу здатність. Стягування цілісного АО вимагає потужних порохових двигунів.

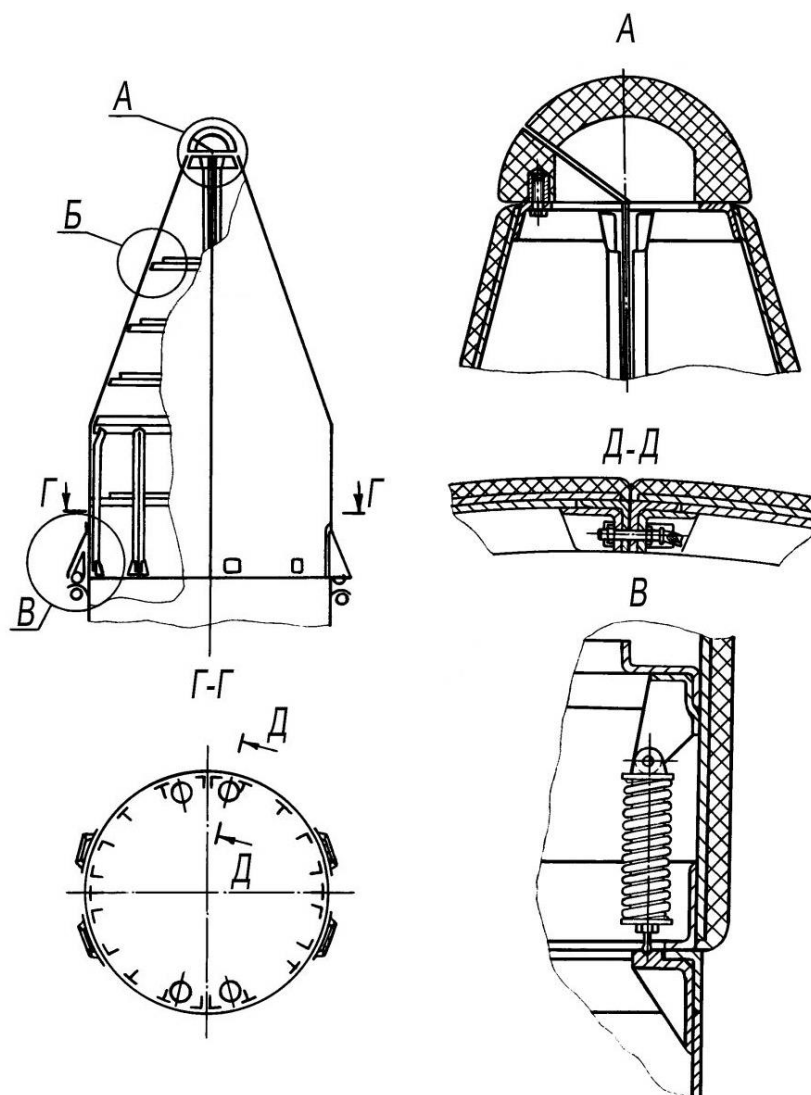


Рис. 61

Обов'язковими елементами обтічника у варіанті його поділу на стулки є штовхачі (пружинні, порохові або пневматичні), а також спеціальні вузли розвороту (завіси). З цією ж метою може використовуватися імпульс ПКЗ поздовжнього поділу АО. Штовхачі можуть встановлюватися як в нижній частині АО так і у верхній. При відносному взаємному відштовхуванні стулок у верхній частині існує небезпека нескидання однієї із стулок з причин різних інерційно-масових параметрів, заклинювання або деформації однієї зі стулок. Тому на практиці віддається перевага відштовхуванню стулок від нерухомої основи. При застосуванні неподільних наконечників АО, вони кріпляться до однієї із стулок і відкидаються з нею. Вузли розвороту з двома завісами на стулці виконуються так, щоб осі завіс становили одну пряму поза міделем ТКС. Поділ АО на стулки по поздовжнього стику чиниться за допомогою розривних болтів, механічних замків, ПКЗ або ДПЗ. Для поперечного ділення використовуються РБ, ПКЗ и ДПЗ (рис. 61).

Стягування цілісного АО здійснюється за допомогою спеціальних порохових реактивних двигунів (ПРД). ПРД розміщуються під АО і кріпляться попарно симетрично на циліндрі або на конусі.

Силовa схема АО визначається зовнішнім надлишковим тиском і великими тепловими потоками. Конічна частина АО найчастіше виконується у вигляді оболонки з кільцевими ребрами. В АО клепаних конструкцій найбільше поширення отримали шпангоути Z-образного профілю з листової заготовки (смуги) або ребра у вигляді гофр. Циліндрична частина АТ відчуває великі осьові навантаження від лобового опору, тому має в своєму складі ще й поздовжній силовий набір.

Конструювання циліндричної частини АО не відрізняється від такого «сухих» відсіків.

Конічна частина АО має свої особливості, пов'язані з характером її навантаження, переважно зовнішнім аеродинамічним тиском. Не допускається втрата стійкості обшивки щоб уникнути порушення аеродинамічної форми. Конічна оболонка підкріплена кільцевими ребрами.

Методика визначення конструктивних параметрів конічних оболонок клепаних обтічників будується на використанні принципу рівності жорсткості:

$$P = P_{кр.об} = P_{кр.ш} , \quad (19.1)$$

де P – розрахунковий зовнішній тиск; $P_{кр.об}$ – критичний тиск втрати стійкості ділянки обшивки між шпангоутами; $P_{кр.ш}$ – критичний тиск (приведений до погонного навантаження $q_{кр}$) втрати стійкості шпангоута як кільця.

Прийнята наступна залежність розрахункового тиску P з діючими в обшивці напруженнями $\sigma_{об}$:

$$\sigma_{об} = \frac{PR_1}{\delta_0} = \frac{P_{кр.об}R_1}{\delta_0}, \quad (19.2)$$

де R_1 – великий радіус конуса; δ_0 – товщина обшивки.

Критичний тиск P знаходиться за формулою:

$$P_{кр.об} = \frac{0,9\nu E \delta_0^2}{lR_1} \sqrt{\frac{\delta_0}{R_1}} \cos^{\frac{3}{2}}\beta, \\ q_{кр} = \frac{3El}{R_{ш}^3}, \quad q_{кр} = P_{кр.об}l_{сер}, \quad (19.3)$$

де ν – коефіцієнт стійкості; β – кут піврозкриття конуса; $I_{ш}$ – момент інерції шпангоута (без обшивки); $R_{ш}$ – радіус шпангоута; $l_{ш}$ – відстань між сусідніми шпангоутами; $l_{сер}$ – середнє значення довжини прольотів, що примикають до шпангоута. Для шпангоутів у середині оболонки (не торцевих):

$$l_{сер} = \frac{l_{i+1} + l_i}{2}. \quad (19.4)$$

Необхідний момент інерції кожного шпангоута обчислюється як

$$I_{ши} = \frac{q_i R_i^3}{3E}. \quad (19.5)$$

Площа поперечного перерізу шпангоутів підбирається за $I_{ши}$ з сортаменту профілів. Для Z-образних профілів

$$F_{ши} = \sqrt{\frac{I_{ши}}{\alpha}}, \quad \alpha = 1,7 \dots 1,9.$$

20. Конструювання ферм

Ферми на ТКС використовуються в якості перехідників між ступенями, рам підвіски двигунів, адапторів корисного навантаження. Ферми бувають конічні і циліндричні. Виконуються зварюванням з пресованих стрижнів трубчастого перерізу. В якості конструкційних матеріалів ферм використовують АмгбМ, високоміцна сталь і титанові сплави. Перспективні боралюміни та КМ, які мають високі жорсткісні характеристики.

Розрізняють ферми з поперечними зв'язками і без них. Поперечні зв'язки стрижнів мають вигляд кільцевих торцевих шпангоутів (рис. 62а), або поперечних поясів з труб (рис. 62б). При відсутності торцевих шпангоутів кріплення стрижнів у вузлах ферми здійснюється через «лапи» (башмаки) (рис. 62,б). «Лапи» служать елементами з'єднання ферми з суміжними відсіками. Рішення про вибір варіанта а) або б) приймається від жорсткості стикувальних шпангоутів суміжних відсіків з конструктивних міркувань. Стикувальні полиці «лап» і шпангоутів можуть мати зовнішнє, центральне і внутрішнє розташування щодо стрижнів.

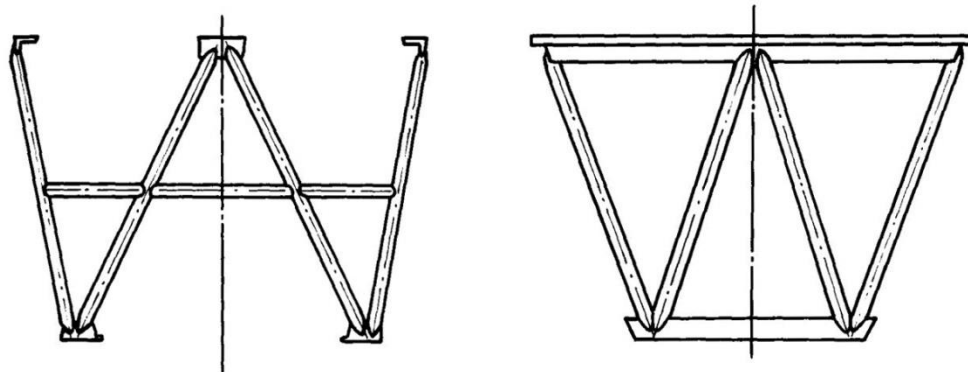


Рис. 62

Варіанти конструкції закладення стрижнів представлені на рис. 63.

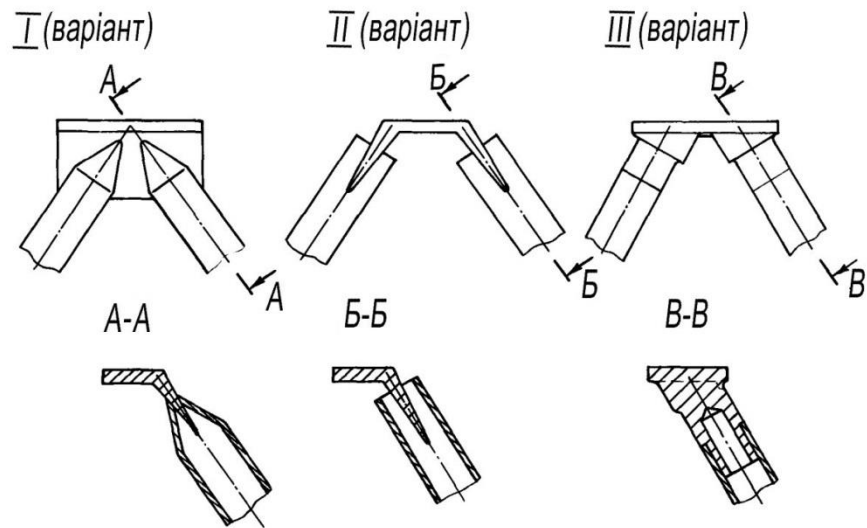


Рис. 63

Задача конструювання ферм полягає в підборі перерізу стрижнів, що забезпечують достатню несучу здатність на міцність і стійкість при мінімальній масі.

При заданих числі вузлів n ($n=N/2$, де N - число стрижнів), габаритах ферми (h - висоті ферми, R_1 і R_2 - великому і малому радіусі підстав) і навантаженнях T , M і Q розрахунковим для кожного стрижня буде найбільше із зусиль T_1 , T_2 або T_3 :

$$T_1 = \frac{1}{n} \frac{1}{2h} \left(T + \frac{2M}{R_2} \right), \quad (20.1)$$

$$T_{2,3} = \frac{1}{n} \left[T \frac{1}{2h} \pm \left(Q \mp \frac{M}{R_2} \frac{(R_1 + R_2)}{h} \right) \frac{1}{R_1 \sin(\pi/n)} \right], \quad (20.2)$$

$$\text{де } l = \sqrt{R_1^2 + R_2^2 + h^2 - 2R_1 R_2 \cos(\pi/n)} - \text{довжина стрижня.} \quad (20.3)$$

Для трубчастого перерізу стрижнів радіус серединної поверхні труби і її товщина пов'язані трьома умовами працездатності:

а) умовою міцності

$$\sigma = \frac{T_{1,2,3}}{2\pi r \delta} \leq [\sigma]; \quad (20.4)$$

б) умовою стійкості стрижня

$$\sigma'_{кр} = c \frac{\pi^2}{2} E \left(\frac{r}{i} \right)^2 \geq \sigma; \quad (20.5)$$

в) умовою стійкості, як оболонки:

$$\sigma''_{кр} = \frac{KE\delta}{l} \geq \sigma, \quad (20.6)$$

де $[\sigma]$ – діючі (допустимі) напруження у стрижні; $\sigma'_{кр}$, $\sigma''_{кр}$ - критичні напруження втрати стійкості; c, K - коефіцієнти стійкості; E - модуль пружності матеріалу стрижнів.

Визначення конструктивних параметрів ферми n , r і δ може бути виконано за методикою, заснованою на принципі рівності стійкості:

$$\sigma = \sigma'_{кр} = \sigma''_{кр}. \quad (20.7)$$

21. Конструювання «сухих» відсіків з композиційних матеріалів.

До нових конструкційних матеріалів відносяться композиційні (КМ). КМ перевершують по міцності і пружних властивостях традиційні метали і сплави. КМ складаються з наповнювачів і зв'язуючих. До наповнювачів відносяться нитки, джгути, стрічки, тканини на основі скляних, вуглецевих і органічних волокон. Сполучними виступають різні смоли, зокрема епоксидні. Основним недоліком КМ є великий розкид механічних характеристик в залежності від технології виготовлення і якості вихідної продукції. КМ виготовляють в основному поздовжньо-поперечним або спіральним намотуванням. Для останнього характерна висока стабільність параметрів.

Конічні і оживальні форми оболонок «сухих» відсіків виготовляються спіральним намотуванням попарно. На початку мотається кокон, який після полімеризації розрізається на дві частини необхідної форми. Відсіки циліндричної форми отримують обрізанням днищ циліндричних коконів.

Головною особливістю конструювання відсіків з КМ є визначення значень властивостей КМ в осьовому α і кільцевому β напрямках оболонки, тобто в залежності від кута армування ϕ . Перевагою застосування КМ є

висока питома міцність органопластиків, низька вартість склопластиків і висока стійкість вуглепластиків.

Кут армування φ (кут між поздовжньою віссю кокона і напрямком намотування) вибирається з умови максимальної несучої здатності оболонки. Для аналізу несучої здатності визначають критичну осьову силу $T_{кр}$ і критичний зовнішній тиск $P_{кр}$.

При осьовому стисненні

$$T_{кр} = 2\pi K \delta_0^2 E_{np}, \quad (21.1)$$

де K – експериментальний коеф. стійкості ($K=0,2\dots0,4$); δ_0 – товщина оболонки; E_{np} – приведений модуль пружності КМ, $E_{np} = \sqrt{E_\alpha E_\beta}$; E_α, E_β – модулі пружності КМ у поздовжньому α і кільцевому β напрямках. Якщо армування збігається з поздовжньою віссю відсіку ($\varphi=0$), то $E_\alpha=E_1$; $E_\beta=E_2$. У випадку кільцевого армування ($\varphi=\pi/2$) $E_\alpha=E_1$; $E_\beta=E_2$.

При дії зовнішнього тиску

$$P_{кр} = K \frac{\delta_n^{5/2}}{LR^{3/2}} E_{np}, \quad (21.2)$$

де $K=0,5\dots0,7$ – експериментальний коефіцієнт. стійкості; L, R – довжина і радіус оболонки, E_{np} – приведений модуль пружності КМ, для даного випадку

$$E_{np} = \sqrt[4]{E_\alpha E_\beta^3}. \quad (21.3)$$

Несуча здатність досягає максимуму при максимумі E_{np} , яке залежить від E_α і E_β :

$$E_\alpha = \frac{B}{B_{22}B_{33}}; \quad E_\beta = \frac{B}{B_{11}B_{33}}, \quad (21.4)$$

де $B, B_{11}, B_{22}, B_{33}$ – узагальнені жорсткості, що залежать від E_1, E_2 та φ .

З наведених формул видно, що для поздовжньо стиснутих оболонок максимальна несуча здатність при $\varphi=0$, а при роботі на зовнішній тиск при $\varphi=90^\circ$. На практиці з-за технологічних обмежень φ знаходиться в діапазоні $20^\circ \leq \varphi \leq 70^\circ$ ($\varphi = 20^\circ$ технологічне обмеження по куту намотування). Для

стиснутих оболонок вздовж осі ϕ беруть поменше, для працюючих на зовнішній тиск ϕ ? вибирається ближче до 70° .

Для циліндричних відсіків під тиском кільцеві напруження у два рази більше ніж осьові, тому кут нахилу $\phi = 60^\circ$.

Оболонки відсіків з КМ можуть виконуватися одношаровими і тришаровими з легким заповнювачем. В якості заповнювача використовують стільники або легкі пінопласти з $\rho = 0,15 \dots 0,25 \times 10^3 \text{ кг/м}^3$.

Для оболонок з КМ складними є конструкторські питання організації вирізів і люків, доробок під кронштейни для кріплення різних елементів і стикування з суміжними відсіками. Одним з можливих рішень по стиках є застосування штифто - болтового з'єднання (ШБС) (рис. 64, а). Можливе застосування шпангоутів, що приклепуються (рис. 64, б). Однак, ефективність конструкції з КМ в цьому випадку знижується через доробки.

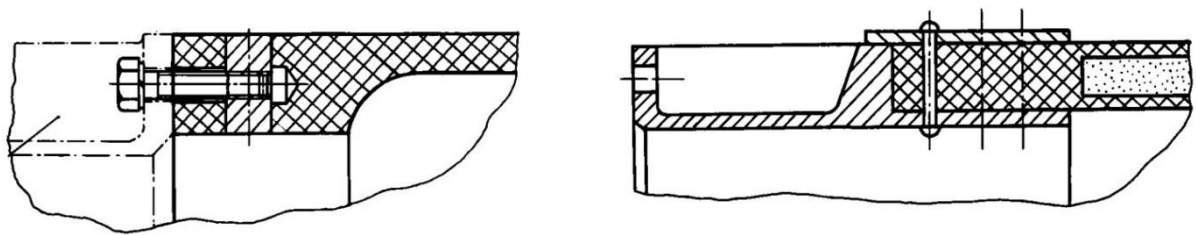


Рис. 64

Постановка металевих шпангоутів з елементами кріплення може у ваговому відношенні звести нанівець переваги конструкції з КМ.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

- 1.Проектування і конструкція ракет-носіїв: Підручник/ В.В. Близниченко та інші; за ред.. акад.. С.М. Конюхова. – Д.: Вид-во ДНУ, 2007. – 504с .
2. Шевцов В. Ю. Проектування космічних апаратів: конспект лекцій. – Д.: РВВ ДНУ, 2008. – 100с.

додаткова література

1. Николаев Ю.М., Соломонов Ю.С. Инженерное проектирование УБР с РДТТ, Вониздат, М., 1979.
2. Щеверов Д.Н. Проектирование беспилотных ЛА, Машиностроение, М., 1978.
3. Гоман О.Г., Макаров С.А., Красникова Р.Д., Романюк В.Н. Программы «AERDIN» и «AERNAG» по расчёту аэродинамических характеристик ЛА, Дн-ск, ДГУ, 1989.
4. Лебедев А.А., Герасюта Н.Ф. Баллистика ракет, Машиностроение, 1970.
5. Беляев Н.М. Системы наддува топливных баков ракет, Машиностроение, М., 1976.
6. Штехер М.С, Топлива и рабочие тела ракетных двигателей, Машиностроение, М., 1976.
7. Балабух Л.И. и др. Строительная механика ракет, М., Высш. Школа, 1984
8. Лизин В.П., Пятки В.А. Проектирование тонкостенных конструкций. М, Машиностроение, 1985.