В.В. Пономаренко
Є.М. Бабко
В.В. Олішевський

ОСНОВИ РОЗРАХУНКУ І КОНСТРУЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

Частина 1

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

В.В. ПОНОМАРЕНКО
Є.М. БАБКО
В.В. ОЛІШЕВСЬКИЙ

ОСНОВИ РОЗРАХУНКУ І КОНСТРУЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

ЧАСТИНА 1

Київ НУХТ 2023

УДК 66.02, 664

Рецензенти: ***О.О. Серьогін***, д-р техн. наук, проф. (Національний університет харчових технологій); ***К.Г. Лопатько***, д-р техн. наук, проф. (Національний університет біоресурсів і природокористування України), ***В.О. Сукманов***, д-р техн. наук, проф. (Полтавський державний аграрний університет)

Пономаренко В.В.

Основи розрахунку і конструювання технологічного обладнання: навч. посіб. — Ч. 1 / В.В. Пономаренко, Є.М. Бабко, В.В. Олішевський. — К.: НУХТ, 2023. — 314 с.

ISBN 978-966-612-293-6

Подано загальні відомості щодо основ конструювання ємкісного обладнання та його елементів, короткі теоретичні відомості, які є основою інженерних методик розрахунків тонкостінних ємкостей, деталей і вузлів загального призначення. Наведено практичну частину з прикладами, які ілюструють застосування розрахункових залежностей і типових елементів конструкцій.

Для здобувачів освітнього ступеня «бакалавр» спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» денної та заочної форм навчання дисциплін професійної та практичної підготовки, а також для використання у курсовому і дипломному проектуванні. Може бути корисним інженерам-механікам для розв'язання складних спеціалізованих задач і практичних проблем, пов'язаних з конструюванням, виготовленням й експлуатацією технологічного обладнання харчової, біотехнологічної та переробної галузей промисловості.

Рекомендовано Вченою радою
Національного університету харчових технологій
як навчальний посібник
для здобувачів закладів вищої освіти
(*протокол № 6 від 22 грудня 2022 р.*)

Подано в авторській редакції

УДК 66.02, 664

ISBN 978-966-612-293-6

© В.В. Пономаренко,
Є.М. Бабко,
В.В. Олішевський, 2023
© НУХТ, 2023

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень 3

Передмова 5

Розділ 1. Основні відомості про технологічне обладнання харчових виробництв 7

1.1. Призначення і характеристика технологічного обладнання 7

1.2. Класифікація небезпечних і шкідливих виробничих факторів 9

1.3. Основні вимоги, що висуваються до технологічного обладнання 10

1.4. Загальні поняття: принципи та методи конструювання технологічного обладнання 13

1.4.1. Загальні принципи конструювання 15

1.4.2. Методи проектування 17

1.5. Нормативні документи, що використовуються при проектуванні 21

1.6. Етапи проектування 23

1.7. Вимоги до обладнання харчових підприємств 24

Контрольні запитання для самоконтролю 29

Розділ 2. Конструкційні матеріали для харчового машинобудування 31

2.1. Основні вимоги при виборі матеріалів 31

2.2. Основні критерії оцінки конструкції, пов'язані з вибором конструкційних матеріалів 33

2.3. Температурний чинник при виборі матеріалу 36

2.4. Гігієнічне оцінювання матеріалів харчової промисловості 40

2.5. Основні вимоги до вибору матеріалів, які використовуються у харчовій промисловості 42
2.6. Рекомендації щодо вибору матеріалу для деталей харчового обладнання 48
2.7. Маркування сталей 51
2.7.1. Маркування сталей згідно з національним стандартом 51
2.7.2. Маркування сталей за Євростандартом 54
2.7.3. Маркування сталей згідно з іншими стандартами 59
2.8. Сучасні тенденції застосування наноматеріалів в харчовому машинобудуванні 62
2.8.1. Загальна характеристика нанотехнологій та наноматеріалів 62
2.8.2. Технології отримання наноматеріалів та методи дослідження їх властивостей 65
2.8.3. Нанотехнології та наноматеріали в харчовій промисловості 71
Контрольні запитання для самоконтролю 76

Розділ 3. Інженерні розрахунки ємкісного обладнання та його елементів 77
3.1. Напруження і деформації при розтягуванні та стисканні 77
3.2. Розрахунок на міцність і жорсткість. Завдання теорій міцності 80
3.3. Класичні критерії міцності (теорії міцності) 81
3.3.1. Критерій найбільших нормальних напружень (перша теорія міцності) 81
3.3.2. Критерій найбільших лінійних деформацій (друга теорія міцності) 82
3.3.3. Критерій найбільших дотичних напружень (третя теорія міцності) 83
3.3.4. Критерій питомої потенціальної енергії деформації формозміни (четверта теорія міцності) 84
3.3.5. Критерій Мора 85
3.4. Особливості конструювання ємкостей і апаратів 86
Контрольні запитання для самоконтролю 92

Розділ 4. Оболонкові конструкції в харчовій промисловості 93
4.1. Основні фактори, що впливають на конструкцію ємкісного обладнання для харчових виробництв 95
4.2. Тонкостінні ємкості та апарати в харчовій промисловості 97
4.3. Товстостінні ємкості в харчовій промисловості. Випробування, маркування, експлуатація 98
Контрольні запитання для самоконтролю 108

Розділ 5. Розрахунок тонкостінних оболонок апаратів харчової промисловості.....109
5.1. Розрахунок на міцність тонкостінних ємкостей згідно з безмоментною (мембранною) теорією оболонок.....110
5.1.1. Оцінка міцності тонкостінних ємкостей.....116
5.1.2. Напруження в тонкостінній циліндричній оболонці 117
5.1.3. Напруження в тонкостінній сферичній оболонці ...118
5.1.4. Знаходження товщини стінки апарата з врахуванням конструктивних та часових вимог.....119
5.2. Розрахунок циліндричних апаратів та їх елементів, навантажених зовнішнім надлишковим тиском (розрахунок на стійкість).....122
5.2.1. Розрахунок коротких оболонок 127
5.2.2. Розрахунок довгих оболонок.....129
Контрольні запитання для самоконтролю 130

Розділ 6. Товстостінні оболонки під внутрішнім тиском.....131
6.1. Застосування апаратів високого тиску в харчових технологіях.....131
6.2. Конструкції ємкостей високого тиску 132
6.3. Розрахунок товстостінних оболонок 138
6.4. Способи збільшення міцності товстостінних ємкостей 144
Контрольні запитання для самоконтролю 148

Розділ 7. Днища і кришки оболонкових конструкцій 149
7.1. Напівкульові днища.....149

7.2. Днища коробової форми.....151
7.3. Еліптичні днища 154
7.4. Слабовипуклі днища 156
7.5. Конічні днища 156
7.6. Плоскі днища.....157
7.7. Дифузорне днище 159
7.8. Тарілчаті днища 160
7.9. Розрахунок еліптичних і напівкульових днищ на зовнішній тиск.....161
7.10. Розрахунок плоских круглих кришок і днищ.....162
Контрольні запитання для самоконтролю 168

Розділ 8. Крайова задача 169
8.1. Причини виникнення крайових сил і моментів 169
8.2. Результат дії крайових ефектів 172
8.3. Крайові ефекти та способи їх зменшення 173
8.4. Розрахунок деформацій та знаходження силових факторів.....175
Контрольні запитання для самоконтролю 178

Розділ 9. Опори ємкостей та апаратів 179
9.1. Загальні відомості про опори для апаратів 179
9.1.1. Стандартні опори вертикальних апаратів.....180
9.1.2. Опори горизонтальних апаратів (сідлові опори).....187
9.2. Розрахунок опор вертикальних апаратів 188
9.3. Розрахунок опор горизонтальних апаратів.....193
Контрольні запитання для самоконтролю 195

Розділ 10. Призначення отворів в ємкостях та апаратах.....196
10.1. Вимоги до розміщення отворів 197
10.2. Методики розрахунку укріплення отворів.....198
10.3. Конструкції укріплюючих деталей.....199
10.4. Вимоги до встановлення укріплюючих елементів 201
10.5. Отвори, які можна не укріплювати 202
10.6. Розрахунок зміцнення отвору 202
10.6.1. Зона укріплення.....202

10.6.2. Умова укріплення отворів 203
10.7. Методика укріплення отворів визначенням довжини укріплюючих елементів 205
10.8. Практика укріплення отворів на підприємстві 206
10.9. Укріплення близько розміщених отворів 207
10.10. Розрахунок укріплення отворів в товстостінних апаратах 208
10.11. Перспективні методи укріплення отворів 209
Контрольні запитання для самоконтролю 210

Розділ 11. Фланцеві з'єднання для обладнання харчової промисловості 211
11.1. Загальні відомості 211
11.1.1. Вимоги до фланцевих з'єднань 212
11.1.2. Класифікація фланців 212
11.1.3. Конструкції фланцевих з'єднань 213
11.2. Матеріал ущільнюючих прокладок для різних конструкцій фланцевих з'єднань 217
11.2.1. Загальні вимоги до ущільнюючого матеріалу 217
11.2.2. Типи прокладок для фланцевих з'єднань 218
11.2.3. Конструкції прокладок для фланцевих з'єднань апаратів та арматурних фланцевих з'єднань 221
11.3. Болти і шпильки фланцевих з'єднань 223
11.4. Розрахунок фланцевих з'єднань 225
11.4.1. Розрахунок зусилля на невивдавлювання прокладки 225
11.4.2. Розрахунок болтів і шпильок фланцевого з'єднання 227
11.4.2.1. Розрахунок зусилля затяжки болтів з умови роботи апаратів 227
11.4.2.2. Розрахунок зусилля затяжки болтів з умови монтажу 229
11.4.2.3. Розрахунок болтів (шпильок) фланцевого з'єднання 230
11.4.3. Розрахунок плоского приварного фланцю 232
11.4.4. Розрахунок вільного фланцю 233
Контрольні запитання для самоконтролю 237

Розділ 12. Трубні решітки теплообмінного обладнання 238
12.1. Матеріали для виготовлення трубних решіток 239
12.2. Технічні вимоги до виготовлення трубних решіток.....239
12.3. Типова конструкція трубних решіток.....241
12.4. Температурні компенсатори.....243
12.5. Технологічний процес кріплення труб в трубних решітках.....245
12.5.1. Процес вальцювання труб.....245
12.5.2. Види з'єднань труб з трубними решітками.....246
12.6. Розрахунок трубних решіток 251
Контрольні запитання для самоконтроля.....256

Розділ 13. Приклади розрахунку.....257
13.1. Приклад 1. Розрахунок закритої тонкостінної оболонки під внутрішнім тиском.....257
13.2. Приклад 2. Розрахунок опорних лап вертикального циліндричного апарата 270
13.3. Приклад 3. Розрахунок укріплення отворів.....273
13.4. Приклад 4. Розрахунок і конструювання фланцевого з'єднання.....276

Додатки 281
Додаток А. Допустимі напруження для сталей 281
Додаток Б. Допустимі напруження матеріалу болтів (шпильок) 285
Додаток В. Значення коефіцієнта запасу міцності за границею текучості 286
Додаток Г. Розміри еліптичних, конічних, сферичних та плоских днищ.....287
Додаток Є. Матеріали та кріпильні вироби для фланцевих з'єднань 294

Список використаних джерел 301

Навчальне видання

Пономаренко Віталій Васильович
Бабко Євген Миколайович
Олішевський Валентин Вікторович

ОСНОВИ РОЗРАХУНКУ І КОНСТРУЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

ЧАСТИНА 1

Подано в авторській редакції

Комп'ютерна верстка *Л.В. Різніченгко*

РОЗДІЛ 1

ОСНОВНІ ВІДОМОСТІ ПРО ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ

1.1. Призначення і характеристика технологічного обладнання

Технологічні ємкості та апарати в різних галузях харчової промисловості призначені для здійснення в них хімічних, фізичних або фізико-механічних процесів (хімічна реакція, теплообмін без зміни агрегатного стану, випарювання, конденсація, кристалізація, розчинення, випарка, ректифікація, абсорбція, адсорбція, сепарація, фільтрація і т.п.), а також для зберігання і переміщення в них різних речовин.

Ємкість — це виріб (пристрій), що має внутрішню порожнину, призначену для проведення хімічних, теплових та інших технологічних процесів, а також для зберігання та транспортування газоподібних, рідких та інших речовин.

Ряд умовних (номінальних) тисків у межах 0,10 – 100 МПа для ємкостей встановлено ДСТУ 356-80 «Тиск умовний пробний і робочий. Ряди». Під умовним (номінальним) тиском розуміють найбільший надлишковий робочий тиск при розрахунковій температурі 20 °С, при якому забезпечується тривала робота ємкостей і апаратів, їх складальних одиниць і деталей, що мають певні розміри, обґрунтовані розрахунком на міцність при вибраних матеріалах та характеристиках міцності при температурі 20 °С.

Апарат — ємкість, обладнана внутрішніми пристроями, призначена для проведення хіміко-технологічних процесів. Апарати в залежності від технологічного процесу та конструкції носять різну назву: колони, камери, автоклави та ін.

Резервуар — ємність для зберігання рідин та газів. Широко поширені металеві та залізобетонні резервуари. Залежно від призначення і виду речовини, що зберігається, резервуари покривають шаром теплоізоляції, а їх внутрішні стінки облицьовують (наприклад, кислототривкими матеріалами).

Газгольдер — резервуар для прийому, зберігання та видачі газу в установки з його переробки.

Ресивер — ємкість для накопичення газу або пари, призначений головним чином для згладжування коливань тиску, обумовлених пульсуючої подачею або уривчастою витратою.

Збірник — ємкість для накопичення речовини, що утворюється в технологічному процесі.

Залежно від призначення апарати називаються відповідно до технологічного процесу, який в них протікає: реактор, теплообмінник, екстрактор, конденсатор, сепаратор, випарник і т.д.

Речовини, що містяться та переробляються в ємкостях і апаратах характеризуються різною хімічною активністю (за відношенням до конструкційних матеріалів і різною мірою дії на обслуговуючий персонал) — від інертних до дуже агресивних, від нешкідливих до вогневибухонебезпечних, а також різним агрегатним станом (найчастіше рідким і газоподібним, рідше твердим).

Різні хіміко-технологічні процеси в ємкостях і апаратах здійснюються при різних, властивих кожному процесу, тисках — від глибокого розрідження (вакууму) до надмірного, в декілька сотень МПа, і найрізноманітніших температурах від мінус 254 °С до плюс 3000 °С.

Характер роботи апаратів буває безперервний і періодичний, а установка їх може бути стаціонарною і нестаціонарною (яка передбачає або допускає переміщення обладнання).

Більшість ємкостей і апаратів мають циліндричну форму як саму раціональну з точки зору технології виготовлення і сприйняття навантажень. Усі ємкості й апарати поряд з наявністю у них своїх специфічних пристроїв, як правило, складаються з таких елементів і вузлів: циліндричного корпусу, днища, кришки, штуцерів (для приєднання трубної арматури, трубопроводів), пристроїв для приєднання контрольно-вимірювальних приладів, люків-лазів, оглядових вікон, опор, стропових пристроїв, запобіжних пристроїв та ін. Зазначені елементи та вузли є зазвичай загальними для всіх апаратів, конструкції та розрахунок яких на міцність розглядаються в практичній частині даного посібника.

Ємкості та апарати можна умовно розділити на три характерні види за найбільш зручною для їх конструювання і розрахунку на міцність ознакою: ємкісні, теплообмінні та ко-

лонні. Відмінною ознакою ємкісних апаратів є відносна простота конструкції. Однак вони можуть бути оснащені різними спеціальними внутрішніми пристроями, а також зовнішніми або внутрішніми обігрівальними або охолоджувальними пристроями (сорочки, кожухи, змійовики і т.п.). Відмінною ознакою теплообмінних апаратів є наявність в них теплообмінної поверхні в не залежності від положення апарата (горизонтального чи вертикального). Відмінною ознакою колонних апаратів (при співвідношенні $H/D > 5$) є їх вертикальне положення і наявність різних внутрішніх пристроїв у вигляді тарілок або насадок. До них також відносяться комбіновані або агрегатовані апарати, що представляють собою розташовані один над одним різні за конструкцією та призначенням кілька апаратів, жорстко з'єднаних між собою.

1.2. Класифікація небезпечних і шкідливих виробничих факторів

Небезпечні і шкідливі виробничі фактори поділяють на фізичні, хімічні, біологічні та психофізіологічні. При роботі апаратів та іншого ємкісного обладнання у різних галузях харчової промисловості слід враховувати можливість виникнення наступних небезпечних і шкідливих виробничих факторів:

- *фізично небезпечні:* наявність рухомих частин апаратів, підвищена загазованість і запиленість повітря робочої зони, підвищена або знижена температура поверхонь апаратів і повітря робочої зони, підвищений рівень звукового тиску, вібрації, ультразвуку, статичної електрики, підвищена напруга в електричному колі, підвищена або знижена вологість, рухливість та іонізація повітря, гострі кромки обладнання, розташування робочих місць на значній висоті;
- *хімічно небезпечні*: залежно від впливу на організм людини, поділяються на токсичні, дратівливі, канцерогенні (спричиняють утворення злоякісних пухлин), мутагенні (впливають на генетичний апарат клітини); можуть проникати в організм людини через органи дихання, шлунково-кишковий тракт, шкірні покриви та слизові оболонки;
- *біологічно небезпечні:* бактерії, віруси та продукти їх життєдіяльності;
- *психологічно небезпечні:* фізичні та нервово-психічні перевантаження.

При визначенні наявності тих чи інших небезпечних і шкідливих виробничих факторів слід враховувати, що один і той же фактор за природою своєї дії може належати одночасно до різних перерахованих вище груп.

1.3. Основні вимоги, що висуваються до технологічного обладнання

При проектуванні, виготовленні та експлуатації технологічного обладнання до ємкостей і апаратів ставиться ряд вимог. Специфічні умови роботи технологічного обладнання не дозволяють виробити єдині вимоги до проектованих ємкостей та апаратів. Однак більшість різноманітних вимог можна згрупувати за рядом споріднених ознак у такі групи:

- ♦ механічна надійність;
- ♦ конструктивна досконалість;
- ♦ експлуатаційні переваги, включаючи положення ергономіки та технічної естетики;
- ♦ екологічність;
- ♦ комунікабельність;
- ♦ техніко-економічні показники.

Однією з необхідних умов безперебійної та тривалої роботи ємкостей і апаратів є їх надійність. Механічну надійність обладнання визначають: міцність, жорсткість, стійкість, довговічність (термін служби) і герметичність. У технологічному обладнанні питання надійності тісно пов'язані зі специфічними умовами роботи. Це обумовлено широким діапазоном температур і тисків, агресивністю робочих середовищ та інших показників.

Показник міцності тісно пов'язаний з іншими необхідними вимогами — довговічністю і безпекою конструкції. Однак обладнання не повинно бути надмірно міцним, тобто робочі напруження в його вузлах та деталях повинні бути лише трохи нижче допустимих, інакше вага, а відповідно і вартість конструкції будуть занадто великі. Для зниження ваги і зменшення витрат матеріалу намагаються зробити всю конструкцію не тільки міцною, але і рівноміцною, що особливо важливо для виробів масового виробництва. Правда, в деяких випадках принцип рівноміцності свідомо порушують. Одну з легко замінних і дешевих деталей роблять менш міцною, щоб у разі перенапружень зламалася саме вона, оберігаючи своїм руйнуванням від поломки всю конструкцію. Прикладом може

служити запобіжна мембрана, що оберігає від руйнування апарати і трубопроводи, в яких можливе різке підвищення тиску (вибух), шпонки, муфти і т.п.

У деяких випадках вирішальним фактором виступає *жорсткість* конструкції. За умовами жорсткості розраховуються циліндричні корпуси ємкостей і апаратів, які навантажені зовнішнім тиском або вакуумом. Руйнування в цих випадках відбувається через втрату первісної форми (втрата стійкості), що супроводжується великим зниженням міцності, і як наслідок, повним руйнуванням. З умов жорсткості вибирають товщину стінок великогабаритних сховищ або газгольдерів. Підвищену жорсткість повинні мати також апарати, які захищені футерівкою або кислотостійкою емаллю. Іноді жорсткість апарата збільшують не за рахунок збільшення товщини стінки, а шляхом установки зміцнювальних кілець або ребер жорсткості.

Наступний важливий показник обладнання — *довговічність*, тобто термін служби, який, поряд із міцністю і жорсткістю, є вельми істотним критерієм для оцінки його якості. Розрізняють розрахункову та дійсну довговічність. Перша з них — величина умовна, вимоги до якої задають відповідні міністерства та відомства. Розрахунковий термін служби призначають зазвичай від 10 до 12 років і беруть за основу при визначенні амортизаційних відрахувань. Дійсний термін служби ємкостей і апаратів може істотно відрізнятися від розрахункового. Довговічність визначається багатьма факторами, зокрема корозійним і ерозійним зносом, а для більшості апаратів — втомою металу. Однак, з іншого боку, виготовляти обладнання довговічним не завжди економічно, зважаючи на його можливе моральне старіння. Доцільно через певний термін замінювати апарати новими, більш продуктивними та досконалими, щоб досягти більш високих економічних показників. У цей час конструктори передбачають у ряді випадків, особливо в харчовій промисловості, довговічність обладнання до 6 років, з огляду на швидкий темп розвитку нової техніки. Але немає необхідності скорочувати довговічність апаратів, які мало зазнають морального старіння і не потребують частого та дорогого ремонту.

Герметичність обладнання є важливою вимогою з точки зору техніки безпеки та промислової екології, особливо для апаратів, що переробляють токсини, їдкі, вогне- та вибухонебезпечні речовини. Необхідне повне виключення потраплян-

ня в навколишнє середовище альтерогенів, тобто речовин, що викликають зміну структури та функцій біологічних систем. Апарат із витоком не допускається до експлуатації також через втрати сировини та кінцевого продукту.

Конструктивну досконалість технологічного обладнання характеризує: простота пристрою, технологічність конструкції, малі вага і габарити, мала витрата дорогих і дефіцитних конструкційних матеріалів, високий коефіцієнт корисної дії. Вона повинна забезпечувати технологічність і експлуатаційні переваги обладнання.

Під *технологічністю* конструкції розуміють дешевизну, легкість і зручність виготовлення, простоту монтажу, обслуговування та ремонту, що досягається за рахунок простоти форми, малої кількості деталей та операцій на їх виготовлення. Особливого значення набуває технологічність конструкції при виготовленні серійної чи масової продукції. Технологічність обладнання значно впливає на конструкцію апаратів і завжди враховується при конструюванні.

Експлуатаційні переваги обладнання визначаються зручністю, простотою та дешевизною експлуатації, ремонтопридатністю, технологічною надійністю, безпекою ведення процесу.

Ремонтопридатністю називають властивість апарата, що полягає в його пристосованості до попередження, виявлення та усунення несправностей і відмов. Вона забезпечується зручністю, простотою та дешевизною складання, монтажу і демонтажу, розбирання та ремонту, легкістю заміни поламаних частин.

Технологічна *надійність* характеризується безперебійністю в роботі і легкістю підтримки технологічного режиму, нечисленністю обслуговуючого персоналу, можливістю під'єднання контрольно-вимірювальних приладів і трубопроводів обв'язки, що забезпечують швидке відключення апарата від технологічної схеми, його спорожнення, продування чи промивання.

Крім цього, експлуатаційні переваги обладнання визначають *ергономічні* показники (антропометричні, біомеханічні, фізіологічні та ін.), які характеризують умови функціонування системи «людина — машина», й естетичні показники (форма, колірна гамма, стиль та ін.), що визначають досконалість його художнього вигляду.

Екологічні показники визначають рівень шкідливих впливів на навколишнє середовище при експлуатації обладнання.

До таких показників відносяться, наприклад, вміст шкідливих речовин, що викидаються в навколишнє середовище, ймовірність викиду шкідливих частинок в робочу зону, виникнення різних випромінювань та ін.

Показники транспортабельності характеризують пристосованість обладнання до переміщення в просторі. Такими показниками є, зокрема, тривалість і трудомісткість підготовки обладнання до транспортування, середня тривалість установки виробу на засіб транспортування, коефіцієнт його обсягу та ін.

Найбільш загальними критеріями, що характеризують ступінь досконалості устаткування, є техніко-економічні показники: продуктивність, витратні коефіцієнти, вартість обладнання та витрати на його експлуатацію, та як підсумок, якість і собівартість продукції. Розрізняють повну (номінальну) продуктивність, гарантовану заводом-виробником, і фактичну продуктивність, яка часто виявляється набагато більшою від номінальної.

Витратні коефіцієнти характеризують витрати сировини, палива, пари, води, стисненого повітря, електричної енергії та ін. на 1 т, 1 м, 1 $м^2$ або 1 $м^3$. Вартість обладнання визначає величину капітальних витрат. Дороге, але більш досконале обладнання може виявитися значно рентабельнішим дешевого чи застарілого. Чим вищий коефіцієнт корисної дії та питома продуктивність обладнання, і чим менші витратні коефіцієнти та витрати на експлуатацію, тим менша собівартість продукції.

Собівартість продукції характеризує ступінь досконалості устаткування і всього технологічного процесу в цілому, і сумарно відображає вплив усіх інших показників. Завдяки цьому стає можливим порівняти між собою різні машини й апарати, абсолютно не схожі між собою схеми, аби вони служили для отримання одних і тих самих продуктів. Шлях до знаходження оптимальної конструкції полягає в розроблені декількох варіантів, які порівнюються щодо техніко-економічних і всіх інших раніше перерахованих показників.

1.4. Загальні поняття: принципи та методи конструювання технологічного обладнання

Розробка нових виробів здійснюється інженерно-технічним персоналом шляхом проектування та конструювання. Проектування та конструювання є взаємопов'язаними процесами, що доповнюють один одного.

Проектування передує конструюванню і є пошуком науково обґрунтованих, технічно здійсненних та економічно доцільних інженерних рішень.

Конструюванням створюється конкретна, однозначна конструкція виробів. У процесі конструювання створюється зображення та види виробу, розраховується комплекс розмірів з відхиленнями, що допускаються, вибирається відповідний матеріал, встановлюються вимоги до шорсткості поверхонь, технічні вимоги до виробу та його частин, створюється технічна документація. Конструювання спирається на результати проектування та уточнює всі інженерні рішення, прийняті під час проектування. Створена в процесі конструювання технічна документація повинна забезпечити перенесення всієї конструкторської інформації на виріб, що виготовляється.

Правила проектування та оформлення конструкторської документації стандартизовані. ДСТУ 3974-2000 встановлює стадії розробки конструкторської документації на вироби та етапи виконання робіт: технічне завдання, технічна пропозиція, ескізний проект, технічний проект, робоча документація.

На підставі вимог, що ставляться до технологічного устаткування, можна встановити причини, які визначають конструкцію та розміри обладнання. Такими причинами є: технологічний процес, що проводиться в апараті; сили, що діють на апарат; спосіб виготовлення апарата й експлуатаційні вимоги.

Технологічний процес і необхідна продуктивність переважно визначають будову й основні розміри апарата (довжину, діаметр і площу поперечного перерізу). При цьому враховуються: характер проведеного процесу — гідравлічний, тепловий, дифузійний або хімічний; швидкість перебігу процесу; спосіб проведення процесу (періодичний або безперервний); агрегатний стан оброблюваних речовин і його зміна під час проведення процесу; термодинамічні умови (тиск, температура та концентрація); агресивність оброблюваних речовин; чистота одержуваного продукту; допустимість виникнення побічних продуктів та інші технологічні обмеження. Великий вплив комплексу технологічних факторів, який чиниться на пристрій і розміри апаратів, вимагає від конструктора засвоєння курсу процесів та апаратів, знання галузі технології, для якої розробляється апарат.

Зусилля й інші механічні навантаження, що діють на частини апарата, визначають їх геометричні розміри. Розміри, які

впливають на міцність (зазвичай товщина стінки ємкості), визначають з урахуванням механічних властивостей конструкційних матеріалів, характеру, інтенсивності та ступеня динамічного навантаження, форми навантажених частин, температури, що впливає на міцність матеріалів, і швидкості корозії.

Технологія виготовлення позначається на формі, товщині стінок і вартості апаратів. Спосіб виготовлення апарата залежить від технологічних властивостей та оброблюваності конструкційного матеріалу, а також від оснащення заводу і серійності продукції. Зазвичай виготовлення моделей, штампів, пристосувань і спеціального інструменту виправдовується тільки при випуску хоча б партії або малої серії однакових апаратів. При виготовленні одиничних апаратів їм часто доводиться надавати іншої, гіршої форми для того, щоб застосувати спосіб, що не потребує спеціального оснащення.

1.4.1. Загальні принципи конструювання

Конструювання обладнання є сферою проектування, яка пов'язана з пошуком нових структур, взаємодії та форм систем і окремих елементів апарата. Незважаючи на відмінність завдань, що вирішуються на окремих етапах конструювання машин, починаючи з синтезу загальної структури машини чи апарата при розроблені технічної пропозиції, і закінчуючи виготовленням робочих креслень окремих деталей, є загальні методи їх вирішення.

Для оцінки тенденцій конструювання апаратів заданого технологічного призначення рекомендують будувати графіки або складати таблиці, що відображають динаміку зміни основних параметрів машини чи апарата за роками (наприклад, питомі енерговитрати, продуктивність, матеріаломісткість) і ступінь поширення конструктивних рішень найважливіших функціональних систем. При використанні цього методу важливе значення мають ознайомлення з довідниками — альбомами, архівом розробок конструкторського бюро, вивчення вітчизняної та зарубіжної технічної літератури і патентної інформації, даних пошукових науково-дослідних робіт у галузі. Конструктор повинен ознайомитися також з актами контрольних випробувань устаткування, аналогічного проектованому, відгуками і рекламаціями підприємств-споживачів цього обладнання.

На початкових стадіях проектування особливу увагу необхідно приділяти вибору структури і основних параметрів проектованого апарата. Як зазначено, параметричний синтез повинен забезпечувати отримання оптимальних параметрів створюваного устаткування. Таким чином, повторюючи слова відомого інженера П.І. Орлова, можна сказати, що «при створенні нової машини конструктор повинен дивитися вперед, озиратися назад і по сторонах».

Основні вимоги до обладнання, що конструюється: працездатність, надійність, технологічність, економічність і ергономічність.

Працездатними називаються деталі, вихідні параметри яких відповідають умовам, обумовленим при конструюванні виробу.

Надійність — здатність деталі зберігати свої вихідні параметри у встановлених межах протягом заданого часу.

Технологічними називаються деталі, витрати коштів, часу та праці на виготовлення яких мінімальні.

Економічність деталі визначається витратами на її проектування, виготовлення та подальшу експлуатацію.

Ергономічність — властивість виробу мати сучасну естетичну форму та обробку, а також забезпечувати зручність у користуванні при його експлуатації та обслуговуванні.

Оптимальне врахування сукупності описаних вимог визначає як кваліфікацію конструктора, так і рівень проектування загалом.

Виходячи з цього, у процесі конструювання виробу необхідно керуватися такими принципами:

а) вихідним документом є технічне завдання, відступ від якого є неприпустимим;

б) у конструкції всі деталі та складальні одиниці повинні мати однаковий ступінь відповідності вимогам надійності, точності, художнього конструювання;

в) виріб, що конструюється, повинен мати раціональне компонування складальних одиниць, що забезпечує малі габарити, зручність складання, регулювання, заміни деталей або складальних одиниць при ремонті;

г) при створенні нового обладнання необхідно дотримуватися конструктивної наступності та модульного принципу;

д) обладнання, що конструюється, повинне відповідати вимогам уніфікації та стандартизації.

1.4.2. Методи проектування

Методи проектування поділяються на великі групи: евристичні та алгоритмічні.

Евристика (від грецького ευρίσκω — знаходжу, відшукую, відкриваю) — метод генерації ідей, зокрема заснований на використанні певної системи навідних запитань. При конструюванні ці запитання можуть стосуватися, наприклад, обговорення властивостей прототипу створюваного обладнання, його окремих функціональних систем або елементів і відносяться до всіх показників якості — від показників призначення, надійності до показників безпеки. Мета такого підходу — спонукання творчої активності конструктора, його ефективне і цілеспрямоване включення в пошук нових рішень. Припускають, що при використанні цього методу проектант добре ознайомлений з технічним завданням на обладнання, принципом його дії, конструкцією, розрахунковою схемою, технічною літературою, експлуатаційними даними та ін.

Евристичні методи сприяють розумовій діяльності, спрямованій на вирішення питань, що виникають при розгляді завдання, що вимагає вирішення. Вони є впорядковані певною мірою правила і рекомендації, що допомагають під час вирішення завдань без попередньої оцінки результату. До найпоширеніших відносяться такі евристичні методи:

- елементарних питань;
- аналогів;
- від цілого до приватного (принцип синергії); навідних операцій;
- колективне спонтанне мислення (мозковий штурм) та ін.

Алгоритмічні методи більш формалізовані та створюють раціональний перехід від замкнутого мислення до відкритого міркування. Вони використовують можливості дедукції, пропонують оцінку операцій, визначення їх черговості та зв'язків, створюється ряд послідовних дій, що наближають до мети (логічних і математичних алгоритмів).

При проектуванні складних систем методи проектування взаємно переплітаються, доповнюючи одне одного. Їхнє конкретне застосування залежить від поставленого завдання. При виборі методів рішення у процесі проектування слід розрізняти *одиничне, варіантне та оптимальне конструювання*.

При *одиничному* конструюванні виходячи з технічної характеристики необхідно шукати шляхи вирішення, порівнюючи отриманий результат із завданням. При цьому з метою економії часу різні варіанти не зіставляються.

Варіантне конструювання характеризується тим, що розробляється загальний принцип розв'язання, а вирішення конкретної завдання береться одне із можливих варіантів загального рішення. Варіації можуть полягати, наприклад, у тому, що по-різному компонуються наявні уніфіковані вузли.

Оптимальне конструювання відрізняється від варіантного конструювання стратегією пошуку. Стратегія пошуку — це алгоритм, що реалізує отримання альтернативних рішень, що поліпшуються принаймні конструювання щодо заданої цільової функції.

Для оцінки ефективності методу проектування в порівнянні з іншими методами є наступні критерії: якість проектування; терміни розробки; вартість проектування; кількість зайнятих спеціалістів-розробників.

Найбільш прийнятні результати за цими критеріями дає застосування методів проектування, які мають кращу якість та економічність.

Ефективність переробної галузі та підвищення продуктивності праці в ній багато в чому визначаються якістю конструкцій машин. Створення оригінальної конструкції машини чи апарата вимагає від конструктора великого обсягу знань та напруженої творчої роботи.

Залежно від оригінальності, технічні системи можуть бути: запозичені, доопрацьовані, модифіковані або новостворені.

До запозичених відносять уніфіковані та стандартні вузли (складальні одиниці) та деталі, а також вузли та деталі, які можуть бути використані з інших вже створених конструкцій.

Допрацьовані системи є вузлами, деталями, конструкціями. виконують необхідні функції, але не відповідають деяким якісним показникам. Виникає, наприклад, необхідність змінити продуктивність, споживану потужність, частоту обертання, швидкість, габарити машини. Структура конструкції та функції елементів при цьому не змінюються. Доробку проводять з метою пристосування технічної системи для вирішення нового завдання, а нові матеріали використовують для підвищення якості, здешевлення чи модернізації обладнання.

До модифікованих відносять відомі конструкції, що не відповідають деяким якісним показникам елементів та вузлів конструкції. У модифікованій конструкції залишаються незмінними функція та принцип дії, змінюються форма, габарити, матеріал та технологія виготовлення деталей. У складних системах змінюють структуру, конструкцію окремих вузлів та елементів зв'язку. При модифікації конструкція зазнає суттєвих змін.

Нові технічні системи — це невідомі раніше конструкції з новим принципом роботи.

У процесі проектування нових технічних систем необхідно керуватися певними положеннями:

♦ Рішення виникають у результаті поступового наближення до них.

♦ Розробка йде від загального до приватного, а не навпаки.

♦ При проектуванні оригінальних виробів та конструкцій необхідно уникати стереотипних форм.

♦ Раціональне рішення отримується з розробки значної частини варіантів та його поглибленого аналізу.

♦ При пошуку рішення насамперед необхідно забезпечити ефективне функціонування технічного засобу.

♦ Конструктивні параметри деталей та вузлів технічних засобів визначаються фізико-технічними факторами та потребують технічних розрахунків.

♦ Вироби конструюють з урахуванням можливості та трудомісткості їх виготовлення.

Аналізуючи наявні дані (конструкцію машини чи апарата, технічні та технологічні параметри, умови експлуатації тощо), намічають кілька варіантів конструктивного рішення. Оптимальне конструктивне рішення визначають та обґрунтовують з урахуванням низки факторів: простоти конструкції; зручності обслуговування та ремонту; металомісткості та вартості. При модернізації машини чи апарата конструктор, залежно від конкретних умов, враховує вплив прийнятих рішень на всі механізми, вузли та процеси, так чи інакше пов'язані з новим конструктивним рішенням.

Новий вузол або елемент приводу повинен органічно вписуватися в пристрій, що модернізується. При цьому конструктивні зміни, які вносяться установкою нового вузла, повинні бути мінімальними та найпростішими. Зміна габаритних чи

приєднувальних розмірів має враховувати розміри сусідніх машин чи вузлів. Ритм роботи нового вузла має бути пов'язаний із ритмом взаємодіючих пристроїв.

Під час опрацювання технічного завдання треба чітко усвідомити, які параметри (продуктивність, потужність обладнання, якість продукту) зазнають змін, які вузли та деталі обладнання вимагатимуть заміни чи реконструкції.

Як правило, для виконання завдання може бути знайдено кілька варіантів конструктивних рішень. При оцінці варіантів рішення потрібні розрахунки габаритів деталей і вузлів; елементів обладнання.

У кожному окремому випадку рішення проектування нового вузла приймають з урахуванням конкретних виробничих умов.

При встановленні в поточну лінію нового обладнання більшої продуктивності враховують як параметри обладнання, що слідує за ним, для запобігання перевантаження, так і параметри попередніх пристроїв, які забезпечуватимуть нове обладнання необхідною кількістю сировини чи напівфабрикату.

Чим складнішою стає проектована система, тим менш допустимі «вольові» рішення, і тим більше значення набувають спеціальні методи, що дозволяють оцінити переваги та недоліки кожного варіанту. Якщо ж йдеться про вирішення нового завдання, у цьому випадку просто неможливо спиратися лише на досвід.

Останнім часом для прийняття найкращих рішень при виборі розглянутих варіантів використовують матриці коефіцієнтів. При цьому кожен фактор (критерій) оцінюють за значимістю ваговим коефіцієнтом. Кожен варіант, залежно з його відповідності необхідним чинникам, отримує відповідне число балів. Потім шляхом розрахунків визначають суму комплексних параметрів, яка показує, який варіантів найкращим чином відповідає поставленій меті.

При неможливості об'єктивної оцінки вагомості того чи іншої чинника застосовують метод експертних оцінок, що дозволяє отримати об'єктивну оцінку, що є результатом формального способу ручного розрахунку чи обробки ЕОМ колективної думки фахівців.

Переважна більшість сучасного обладнання є результатом діяльності конструкторів кількох поколінь. Тому при виборі

параметрів кожної одиниці нового обладнання повинні дотримуватися принципи:

- ♦ конструктивної спадковості;
- ♦ трансформації;
- ♦ інверсії.

Ці методи тісно пов'язані між собою, і зазвичай їх використовують одночасно й системно на всіх стадіях проектування стосовно всіх функціональних систем.

Конструктивна спадковість при проектуванні виражається у використанні всього досвіду, накопиченого в харчовому машинобудуванні. Такий підхід виправданий тим, що кожне обладнання, кожна складальна одиниця, як правило є результатом творчості кількох поколінь конструкторів, причому в нових конструкціях використовують найбільш вдалі і прогресивні рішення. З цієї причини, наприклад, при виборі загальної схеми машини чи апарата технічне завдання зазвичай орієнтують на певний вітчизняний або зарубіжний прототип (аналог), технічні показники якого знаходяться на високому рівні.

Конструктивна спадковість передбачає критичний підхід проектанта як до технічного завдання, так і до аналога, рекомендованого як прототип. Від конструктора потрібні глибокі знання обладнання даного типу, галузі, для якої його створюють, умов, при яких його будуть експлуатувати.

Конструктивна спадковість не є простим або масштабованим перенесенням тієї чи іншої системи конструкції, оскільки необхідно враховувати можливість використання в конструкції, що розробляється, нових, більш досконалих технічних засобів (комплектуючих виробів, конструкційних матеріалів, технології виготовлення, методів зміцнення та ін.). У більшості випадків при цьому виконують весь комплекс проектних і перевірних розрахунків, що визначають параметри системи, тобто виконують параметричний синтез.

Метод трансформації та інверсії, що передбачає перетворення чи обернення функцій системи або її елементів, широко використовують при конструюванні обладнання.

1.5. Нормативні документи, що використовуються при проектуванні

При створенні технологічного обладнання високу якість виробу забезпечують використанням у процесі проектування

єдиної нормативно-технічної документації, а також широким застосуванням у конструкціях стандартних та уніфікованих деталей і вузлів. Уся конструкторська документація виконується відповідно до вимог стандартів єдиної системи конструкторської документації (ЄСКД), єдиної системи технологічної документації (ЄСТД), єдиної системи допусків і посадок (ЄСДП), єдиної системи захисту від корозії і старіння матеріалів і виробів (ЄСЗКС), системи стандартів безпеки праці (ССБП) та ін.

Стандартизація обладнання — це приведення численних видів виробів однакового функціонального призначення до обмеженої кількості обов'язкових зразків. Розроблено ДСТУ для найбільш досконалих конструкцій машин і апаратів різних виробництв, наприклад, для деяких видів центрифуг, подрібнювачів, ємкісного обладнання (абсорбційного, адсорбційного), теплообмінників та ін. Ці ДСТУ визначають типи обладнання, їх основні параметри та розміри, технічні вимоги, правила приймання, і методи випробувань, вимоги безпеки та виробничої санітарії тощо.

Поряд з ДСТУ, використовують і галузеві стандарти, тобто стандарти галузі, наприклад, хімічного машинобудування. Галузевий стандарт дозволяє стандартизувати ряд агрегатів технологічних виробництв, не охоплених ДСТУ, наприклад, деякі види змішувачів, мішалки, живильники, а також більшу частину типових деталей і вузлів технологічного обладнання (обичайки, днища, кришки, фланці, штуцери, бобишки, люки, компенсатори, ущільнення і т.д.). Для розрахунку деяких видів обладнання або їх елементів використовують керівні технічні матеріали (КТМ). Стандартизовано також ряд параметрів (тиск, діаметри та ін.), норми і методи розрахунку деяких видів обладнання та їх окремих елементів.

Уніфікація, тобто скорочення різноманіття типів і розмірів виробів та їх елементів, а також сортаменту матеріалів, передбачає можливість використання одних і тих же елементів у різних агрегатах для виконання однакових функцій в певному діапазоні параметрів. Застосування уніфікованих елементів полегшує проектування та виготовлення ємкостей і апаратів, підвищує ефективність їх використання.

Рівень стандартизації та уніфікації конструкцій оцінюють через ступінь стандартизації та ступінь уніфікації, які розу-

міють як відношення кількості найменувань стандартних (уніфікованих) елементів до загальної кількості найменувань всіх елементів у конструкції.

Якщо обладнання, що проектується, має в своєму складі ємкості, що працюють під тиском, то їх виготовлення, монтаж, експлуатацію та ремонт виконують відповідно до «Правила будови та безпечної експлуатації посудин, що працюють під тиском ДНАОП 0.00-1.07-94».

1.6. Етапи проектування

Проектування — процес створення нового виробу, що передбачає *п'ять стадій*: технічне завдання, технічну пропозицію, ескізний проект, технічний проект, розробку робочої документації (ДСТУ 3974-2000).

Технічне завдання встановлює основне призначення, технічні характеристики, показники якості, техніко-економічні, а також спеціальні вимоги до виробу, що розробляється.

Технічна пропозиція — сукупність конструкторських документів, що містять технічні та техніко-економічні обґрунтування доцільності розробки виробу на підставі технічного завдання та різних варіантів можливих рішень виробів, порівняльної оцінки рішень з урахуванням конструктивних та експлуатаційних особливостей виробів, що розробляються, а також патентних матеріалів

Після затвердження технічна пропозиція є підставою для розробки ескізного проекту.

Ескізний проект — сукупність конструкторських документів, які повинні містити принципові конструктивні рішення, що дають загальне уявлення про влаштування та принцип роботи виробу, а також дані, що визначають його призначення, основні параметри, габарити.

Ескізний проект розробляють зазвичай у кількох випадках з ґрунтовним розрахунковим аналізом, у результаті якого відбирають варіант для подальшої розробки.

На цій стадії проектування виробляють кінематичний розрахунок приводу, розрахунок передач з ескізним компонуванням їх деталей, що відображає важливі конструктивні рішення та дають уявлення про пристрій і принцип роботи виробу, що проектується. З викладеного випливає, що розрахунки необхідно виконувати з одночасним кресленням конст-

рукції виробу, так як багато розмірів, необхідних для розрахунку (відстань між опорами валу, місця застосування навантажень і т.п.), можна отримати тільки з креслення. У той самий час поетапне креслення конструкції у процесі розрахунку є перевіркою цього розрахунку. Неправильний результат розрахунку викликає порушення пропорційності конструкції деталі при виконанні ескізного компонування виробу.

Перші проектні розрахунки на стадії ескізного проектування виконують, як правило, спрощеними та наближеними. Остаточний розрахунок є перевірним для даної (вже наміченої) конструкції виробу.

Багато розмірів елементів деталі при проектуванні не розраховують, а приймають відповідно до досвіду проектування подібних конструкцій, узагальненим у стандартах та нормативно-довідкових документах, підручниках, довідниках та ін.

Ескізний проект після затвердження є підставою для розробки технічного проекту чи робочої конструкторської документації.

Технічний проект сукупність конструкторських документів, які повинні містити остаточні технічні рішення, що дають повне уявлення про влаштування виробу, що виробляється, і вихідні дані розробки робочої документації.

Технічний проект після затвердження є підставою для розробки робочої документації.

Розробка *робочої документації* — заключна стадія проектування, яка необхідна для виготовлення всіх ненормалізованих деталей, і навіть оформлення заявки придбання стандартних виробів.

Робоча конструкторська документація (РКД) — це робочі креслення деталей і складальні креслення вузлів. РКД потрібна для виготовлення дослідного зразка чи початкової серії виробу. На стадії розробки РКД завершується відпрацювання конструкції на технологічність виготовлення та складання. Наявність усіх стадій не завжди є обов'язковою. Часто окремі стадії об'єднуються, і, таким чином, скорочується час проектувальних робіт.

1.7. Вимоги до обладнання харчових підприємств

Обладнання харчових підприємств призначене для переробки сировини агропромислового комплексу та виготовлення про-

дукції, що вживається людиною в їжу. Особливістю цієї сировини є різні значення pH (наявність вільних іонів H^+) — від кислого до лужного. Окрім того сировина, що переробляється, при відповідних умовах може досить швидко псуватись, внаслідок чого продукція втрачає свої харчові якості і до вживання не придатна. Все це накладає на обладнання, що використовується, до загальних вимог, таких, як економічність, екологічність, міцність, надійність, жорсткість, вібраційна стійкість та ін., додаткові особливі вимоги, що пов'язані з його безпосереднім контактом з сировиною та харчовими продуктами.

Обладнання, що застосовується для виготовлення продукції підприємств харчової промисловості, повинно забезпечувати додержання вимог прогресивної технології обробки продуктів, тобто машини і апарати повинні діяти на продукт, що обробляється оптимальним чином і відповідати:

♦ вимогам високої техніко-економічної ефективності, що виявляється в мінімальних витратах на одиницю виготовленої продукції.

♦ вимогам технологічності виготовлення, тобто відповідності його конструкції оптимальним методам його виготовлення при заданому масштабі виробництва.

♦ жорстким вимогам ремонтопридатності, швидкого відновлювання работоздатності при будь-яких відмовах, відповідати вимогам зручного та точного переналагодження.

Використання уніфікованих та нормалізованих вузлів та деталей, застосування стандартних деталей та виробів підвищує технологічність виготовлення обладнання, спрощує його розробку та обслуговування, зменшує складність ремонтів, скорочує номенклатуру необхідних запасних частин.

Використання під час конструювання економічних профілей металопрокату веде до зменшення матеріаломісткості та збільшення економічності обладнання. Заміна, де це є доцільним, металів синтетичними матеріалами приводить до зменшення загальної маси обладнання, трудоємності та собівартості виготовлення, збільшення надійності та довговічності.

Раціональне блочне конструювання обладнання спрощує його переміщення, монтаж, збирання та розбирання, ремонт. Наявність окремих блоків для деяких видів обладнання є єдиною можливістю їх транспортування від машинобудівного підприємства до місця його застосування.

Взаємозамінність деталей та вузлів повинно забезпечуватись відповідністю системи допусків та посадок, що використовується, державним вимогам та стандартам.

Машини та апарати харчових виробництв повинні відповідати чинним вимогам техніки безпеки, безпечним умовам праці та діючим нормам виробничої гігієни та санітарії. До цих вимог відноситься також питання забезпечення мінімальної шумливості обладнання. Під час його роботи виробничий шум як по своїй інтенсивності, так і по спектральному складу не повинен перевищувати чинні допустимі санітарні норми. Для послаблення шумів під час розробки обладнання використовуються такі основні прийоми:

- ♦ заміна ударних дій робочих органів безударними;
- ♦ заміна зворотно-поступального руху рівномірно обертовим;
- ♦ демпфірування вібрацій деталей, що співударяються;
- ♦ використання матеріалів, які мають значне внутрішнє тертя (наприклад таких, як гума, корка, повсть, декотрі пластичні та композитні матеріали);
- ♦ використання гнучких зв'язків, мастильних ванн, захисних ізолюючих кожухів та інш.

Конструкція обладнання харчових підприємств повинна забезпечувати можливість зручної, швидкої та якісної очистки вузлів, деталей та реакційного простору від залишків продуктів переробки або іншого забруднення, яке може вплинути на доброякісність виробляємої продукції. Конструкція обладнання повинна виключати можливість появи «мертвих» чи застійних зон.

Вузли та деталі обладнання, які контактують з харчовими продуктами, що обробляються, повинні відповідати вимогам високої зносостійкості. Конструкція обладнання повинна виключати будь-яку можливість попадання продуктів зносу конструкційних матеріалів в харчовий продукт.

Деякі харчові продукти при відповідних умовах можуть утворювати вибухонебезпечні суміші (наприклад — цукровий пил в суміші з повітрям). В зв'язку з цим обладнання, яке використовується для переробки таких продуктів повинно забезпечити неможливість створення вибухонебезпечних сумішей, або, якщо така суміш утворюється за технологією переробки сировини, виключити можливість виникнення

умов, які можуть привести до вибуху (надійна герметизація, раціональне переміщення сумішей, що аспіруються, використання вибухонебезпечних матеріалів, комплектуючих вузлів та деталей, електрообладнання).

Сучасні умови виробництва вимагають автоматизації контролю та регулювання робочих процесів, застосування автоматичних блокувальних устроїв, використання пристроїв, які інформують про перебіг робочого процесу.

Як окремі вузли та деталі, так і уся конструкція в цілому повинні мати статичну та динамічну зрівноваженість рухомих мас.

Одною з основних загальних вимог є забезпечення технічної досконалості та надійності обладнання.

Кількісною характеристикою технічної досконалості обладнання є термін, на протязі якого це обладнання за своїми технічними показниками буде відповідати сучасному рівню техніки.

Визначення надійності та її основні показники установлюються державними стандартами. Відповідно до ДСТУ 2860-94 «Надійність техніки. Терміни та визначення» поняття надійності та її основні показники визначалась наступним чином.

Надійність — це властивість системи або її частин виконувати завдані функції, зберігаючи свої експлуатаційні показники в завданих межах на протязі потрібного проміжку часу, або потрібного часу напрацювання.

Надійність є комплексною властивістю, яка залежно від призначення об'єкта та умов його застосування може включати такі категорії, як відмова, безвідмовність, довговічність, ремонтопридатність та збереження окремо або при певному поєднанні цих властивостей.

Працездатність це є стан обладнання, при якому вона повинна виконувати завдані функціональні обов'язки, зберігаючи параметри, що встановлені вимогами технічної документації.

Відмова це подія, що полягає в порушенні працездатності обладнання (повної або часткової). Відмови бувають: повні та часткові; раптові (наприклад, поломка) та поступові (зношування, корозія); небезпечні для життя людини; важкі та легкі, усувні та непереборні. Залежно від причин виникнення відмови поділяються на конструкційні, виробничі та експлуатаційні. На стадії конструювання вони зумовлюються помилками конструктора, недосконалістю прийнятих методів роз-

рахунку конструювання. При виготовленні — порушенням прийнятої технології, а також її недосконалістю. В експлуатації — порушення правил експлуатації, зовнішнім впливом, невластивим нормальним умовам експлуатації.

Надійність деталей машин, механізмів і приладів багато в чому залежить від того, наскільки близькі граничні запаси основних розрахункових критеріїв працездатності (міцність, швидкість, температура, зносостійкість та інших.) до дійсним робочим режимам.

Найголовнішими критеріями надійності обладнання та інших систем є: частота відмов, інтенсивність відмов; можливість безвідмовної роботи протягом заданого пробігу або заданого проміжку часу.

Чим більше у складній системі елементів, тим менша ймовірність її безвідмовної роботи. Це слід пам'ятати та враховувати під час проектування. Імовірність безвідмовної роботи системи у різні періоди її терміну служби різна. Зазвичай зі збільшенням терміну служби (або, наприклад, пробігу) можливість безвідмовної роботи зменшується. У цьому закони розподілу ймовірності безвідмовної роботи може бути різними: показової, нормальної, логарифмічно-нормальної та ін.

Безвідмовність — властивість обладнання безперервно зберігати працездатний стан протягом певного часу чи напрацювання.

Для цієї властивості характерною є безперервність збереження працездатного стану об'єкта протягом його застосування за призначенням.

Довговічність (*ресурс*) — властивість обладнання зберігати працездатний стан до настання граничного стану при встановленій системі технічного обслуговування та ремонту.

Граничний стан визначається неможливістю подальшого використання обладнання, що обумовлюється зниженням ефективності або вимогами безпечної експлуатації та про що робиться застереження в технічній документації.

Напрацювання — тривалість або об'єм роботи обладнання, які вимірюються в часі, циклах, одиницях продукції або інших подібних величинах.

Ресурс — наробка до граничного стану, що є обумовлений технічною документацією.

Строк служби — календарна тривалість експлуатації до моменту виникнення граничного стану, що є обумовлений технічною документацією, або до моменту списання.

Ремонтопридатність — властивість обладнання, що полягає в його пристосованості до підтримки та відновлення працездатного стану шляхом технічного обслуговування та ремонту.

Несправність — стан, при якому дана конструкція (машина чи апарат) не відповідає хоча б одній з вимог технічної документації.

Зберігаємість — властивість конструкції зберігати обумовлені експлуатаційні показники на протязі та після закінчення терміну збереження (схову) і транспортування, що встановлюється в технічній документації.

Працездатність — стан обладнання (приводу, вузла, деталі, машини, апарата) при якому зберігається його здатність нормально виконувати задані функції відповідно до параметрів, встановлених нормативно-технічною документацією.

Основними критеріями працездатності обладнання є: міцність, жорсткість, зносостійкість, вібростійкість, теплостійкість та стійкість проти корозії та старіння. Ці критерії забезпечують безвідмовне функціонування обладнання в межах заданого ресурсу.

Надійність конструкції є найважливішим та найбільш всеохоплюючим показником якості будь-якого обладнання. Найголовнішим аспектом його надійності є забезпечення достатньої міцності, що визначається його функціональним призначенням і умовами експлуатації.

Питання підвищення надійності, разом з питаннями, що визначаються економічністю та функціональним призначенням обладнання, включаючи умови його правильної експлуатації, є тими головними питаннями, на яких базується конструктор під час його розробки.

Контрольні запитання для самоконтролю

1. З яких елементів і вузлів, як правило, складаються всі ємкості й апарати?
2. Які небезпечні і шкідливі виробничі фактори Ви знаєте?
3. Які вимоги пред'являють при проектуванні, виготовленні та експлуатації до ємкостей і апаратів?
4. Що визначає механічну надійність обладнання?

5. З чим пов'язані питання надійності?
6. Як би Ви охарактеризували рівноміцність деталей та вузлів обладнання?
7. Охарактеризуйте довговічність обладнання.
8. Що таке ремонтопридатність?
9. Що таке технологічна надійність?
10. Що характеризують витратні коефіцієнти?
11. Що передбачає конструктивна спадкоємність?
12. Що таке уніфікація?
13. Від чого залежить метод виготовлення апарата?
14. Назвіть основні етапи створення нового обладнання.