

**Н.І. БОЛТЯНСЬКА**

**НАДІЙНІСТЬ  
ТЕХНОЛОГІЧНИХ  
СИСТЕМ**

*Посібник-практикум*



**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО**

**Болтянська Н. І.**

# **НАДІЙНІСТЬ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ**

*Посібник-практикум*

для здобувачів ступеня вищої освіти «Магістр» зі спеціальності  
133 «Галузеве машинобудування»

Мелітополь  
2019

УДК 631.3 – 192 (075)  
Б 79

Автор: доцент Болтянська Н. І.

Рекомендовано до друку рішенням вченої ради механіко–технологічного факультету Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного  
(Протокол № 4 від 10.12.2019 )

Рецензенти:

- О. Г. Караєв – д.т.н., доцент кафедри сільськогосподарських машин, Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного;
- В. П. Кувачов – к.т.н., доцент кафедри машиновикористання в землеробстві, Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного.

**Болтянська Н. І.**

**Надійність технологічних систем:** посібник-практикум / Н.І. Болтянська. – Мелітополь: Люкс, 2019. – 162 с.

Посібник-практикум призначено для вивчення та практичного засвоєння знань з визначення надійності роботи оператора технологічної системи; показників надійності технологічних систем при нормальному законі розподілу, при експоненціальному законі розподілу та при законі розподілу Вейбулла; побудови дерева відмов технологічних систем; визначення ймовірності безвідмовної роботи технологічної системи та визначення показників надійності технологічної системи приготування цукрової і молочної помади.

УДК 631.3 – 192 (075)  
© Н.І. Болтянська, 2019  
© Люкс, 2019

## ЗМІСТ

Практична робота №1 Визначення надійності роботи оператора технологічної системи	4
Практична робота №2 Визначення показників надійності технологічних систем при нормальному законі розподілу	30
Практична робота №3 Визначення показників надійності технологічних систем при експоненціальному законі розподілу	51
Практична робота №4 Визначення показників надійності технологічних систем при законі розподілу Вейбулла	76
Практична робота №5 Побудова дерева відмов технологічних систем	95
Практична робота №6 Визначення ймовірності безвідмовної роботи технологічної системи	116
Практична робота №7 Визначення показників надійності технологічної системи приготування цукрової і молочної помади	140

# Практична робота №1

## ВИЗНАЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ РОБОТИ ОПЕРАТОРА ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СИСТЕМИ

**МЕТА РОБОТИ** – вивчити методику визначення показників надійності роботи оператора технологічної системи.

### 1 ВКАЗІВКИ З САМОПІДГОТОВКИ ДО РОБОТИ

#### 1.1 Завдання для самостійної підготовки (Додаток А)

*Вивчити:*

- основні види помилок, які може допустити оператор;
- причини помилок оператора, які призводять до відмов систем.

*Ознайомитись:*

- з характеристиками системи «людина – машина - середовище» («ЛМС»)
- з кількісними оцінками показників надійності роботи оператора.

*Скласти звіт по роботі:*

- номер, найменування та мета роботи;
- складові системи «людина-машина-середовище»;
- види сумісності оператора з іншими елементами системи;
- критерії оцінки діяльності оператора;
- методика визначення надійності і точності роботи оператора.
- розрахунок швидкодії, надійності і точності роботи оператора.

#### 1.2 Питання для самопідготовки

1.2.1 Характеристика системи «ЛМС».

1.2.2 Основні види помилок оператора.

1.2.3 Причини помилок, які призводять до відмов систем.

1.2.4 Показники надійності систем «ЛМС».

### **1.3 Рекомендована література**

1. Надійність техніки. Системи технологічні. Терміни та визначення. ДСТУ 2470-94. - [Чинний від 01.01.95] – К.: Держспоживстандарт України. 1994.

2. Ветошкин А.Г. Надежность и безопасность технических систем / А.Г. Ветошкин, В.И. Марунин. – Пенза, 2002. -129 с.

## **2 ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ**

### **2.1 Програма робіт**

#### *2.1.1 Вивчити:*

- складові системи «людина-машина-середовище»;
- види сумісності оператора з іншими елементами системи;
- методику визначення надійності і точності роботи оператора.

#### *2.1.2 Ознайомитись:*

- з кількісними оцінками показників надійності роботи оператора.

#### *2.1.3 Провести розрахунок:*

- швидкодії, надійності і точності роботи оператора технологічної системи.

*Скласти звіт та захистити роботу.*

### **2.2 Теоретичні відомості**

#### **2.2.1 Складові системи «людина-машина-середовище»**

Надійність технологічних машин і обладнання є важливою властивістю, яка визначає якість тих технологічних операцій, для яких ці машини призначені. Зростання кількості технічних і технологічних відмов призводить до зниження надійності систем.

Часто це виникає у зв'язку з порушенням узгодженості між окремими складовими системи «людина-машина-середовище». Машини керуються і обслуговуються людиною-оператором і тому оператор розглядається, як важлива компонента, від якої залежить надійність всієї системи «ЛМС».

Сучасне виробництво характеризується вимогливістю як до обладнання і технологій, так і до людини, яка є елементом

системи «ЛМС». Але людина не просто елемент системи – це найважливіший елемент.

Однак можливості людини, особливо психофізіологічні, з кожним роком погіршуються. Тобто виникає чітка негативна тенденція яка визначає кризу між технологічними процесами і обладнанням, які удосконалюються з кожним роком, та психофізіологічними і фізичними можливостями людини, яка є учасником процесу праці. Негативна тенденція з погіршенням можливостей людини визначає кількість нещасних випадків на виробництві. Психофізіологічні особливості кожної людини індивідуальні і це повинні враховувати керівники виробництв різних рівнів. Оптимізація процесу праці це складна комплексна задача, яку вирішувати допомагає ергономіка. За її допомогою можна оптимізувати умови і процес праці, а також удосконалення професійної майстерності.

**Ефективність функціонування системи «ЛМС»** залежить від ефективності роботи як технічних ланок, так і людини (оператора), яка оцінюється за показниками надійності й ергономічності, а також ризику виникнення небезпечних ситуацій.

**Надійна робота системи «ЛМС»** у цілому залежить від надійної роботи обладнання (машини) і надійної роботи людини (оператора).

Така складова, як «оператор», є центральною ланкою в забезпеченні працездатності системи «ЛМС». Саме людина в технологічній системі виконує трудову діяльність щодо безпосередньої зміни і визначення стану предметів виробництва, технічного обслуговування чи ремонту засобів технологічного оснащення. Техніка керується і обслуговується людиною-оператором, а тому вона розглядається, як одна з важливих ланок, від надійності якої залежить надійність складної системи «ЛМС».

**Надійність оператора** визначається як імовірність якісного виконання роботи або поставленого завдання протягом установленого терміну при заданих умовах.

**Надійність діяльності людини** у системі «ЛМС» визначається надійністю її організму: надійністю виконання людиною функцій з керування технічними засобами і їх обслуговування. Тому надійність оператора зазвичай подають у вигляді структурної і функціональної надійності.

**Структурна надійність** - властивість людини зберігати працездатність протягом визначеного часу у певних умовах.

**Функціональна надійність** - властивість людини виконувати визначені функції відповідно до завдання у той самий термін і за тих самих умов.

На безпечність функціонування системи «ЛМС» найбільше впливає функціональна надійність. Тому надійність оператора характеризується показниками безпомилковості, готовності, відновлюваності, своєчасності.

Як і для технічних засобів, основним показником безпомилковості роботи є імовірність безпомилкової роботи. Ця імовірність розраховується як на рівні окремої операції, так і рівні всього завдання (алгоритму) в цілому. На рівні окремої операції основними критеріями є вірогідність безпомилкового виконання операції, а для типових операцій, що найчастіше повторюються, – інтенсивність помилок (відмов).

Помилку оператора розуміють як неправильне виконання або невиконання оператором відповідних дій. Це може бути причиною пошкодження обладнання чи порушення нормального перебігу запланованої операції.

Всі помилки оператора поділяють на *закономірні і випадкові*. До закономірних належать ті помилки, причини яких можуть бути виявлені, проаналізовані і ліквідовані. Причини випадкових помилок невідомі, вони мають стохастичний характер.

За природою виникнення розрізняють **три види помилок** оператора:

- **сенсорні**, пов'язані з невірним сприйняттям інформації що може залежить від емоційного стану людини, або її втоми;



- **логічні** (помилки у прийнятті рішення), пов'язані з браком інформації, відсутністю досвіду, дефіцитом часу та станом людини;

- **моторні**, пов'язані з виконанням керуючих дій, обмеженістю часу, неоптимальною енергетичною сумісністю (тобто узгодження органів управління «машини» з можливостями людини відносно прикладених зусиль).

Отже, оператор є джерелом суттєвої небезпеки, оскільки виконує в системі основну функцію.

Надійність оператора залежить від багатьох факторів об'єктивного і суб'єктивного характеру.

**Суб'єктивні фактори** залежать від стану оператора, його індивідуальних властивостей, морально-психологічних якостей, медико-біологічних показників, а також рівня підготовки до цього виду діяльності. Вони мають враховуватися під час організації діяльності оператора, що забезпечить безпеку функціонування системи «ЛМС».

**Індивідуальні особливості** оператора визначаються загальним станом його здоров'я, станом нервової системи, психофізіологічними властивостями. Від індивідуальних особливостей людини залежить здатність людини до навчання й тренування. Вони є підґрунтям професійного відбору.

Індивідуальні особливості оператора визначають на підставі:

- безпомилковості;
- працездатності;
- витривалості й готовності до екстреної роботи;
- стійкості до перешкод;
- емоційної стійкості;
- відновлення працездатності під час відпочинку;
- багатоваріантності способів і прийомів роботи;
- гнучкості й здатності своєчасно змінювати стратегію дій;
- швидкості прийняття і виконання рішення та ін.

Значне місце серед психічних процесів, що впливають на якість роботи оператора, займає увага. Вона характеризується появою вибіркової готовності мозку до відповідних реакцій на

певні сигнали. При цьому відбувається підвищення чутливості аналізаторів та зменшення латентного періоду до очікуваних сигналів, підвищення готовності виконавчого апарату для цих сигналів. Від уваги залежить рівень налаштованості людини до сприймання і переробки інформації. Надійність оператора залежить від фактора розподілу і переведення уваги.

**Об'єктивні фактори** поділяються на дві групи: ергономічні та середовища. До факторів середовища належать фактори умов праці й фактори трудового процесу.

На умови праці впливає сукупність факторів виробничого середовища. Несприятливі умови праці негативно впливають на здоров'я і працездатність людини. Регламентують умови праці санітарні норми.

Особливості трудового процесу визначають психофізіологічні фактори. До них належать важкість і напруженість праці.

**Важкість праці** є кількісною характеристикою фізичної праці. **Напруженість** – кількісна характеристика розумової праці.

### **2.2.2 Види сумісності оператора з іншими елементами системи**

**Ергономічні фактори** надійності оператора включають гігієнічні, антропометричні, фізіологічні, психофізіологічні, психологічні фактори. Ергономічні фактори показують сумісність людини і інших елементів в системі «ЛМС».

Існує 5 видів сумісності людини з іншими елементами системи: інформаційна, біофізична, енергетична, просторово-антропометрична і техніко-естетична.

**Інформаційна сумісність** має на увазі створення такої інформаційної взаємодії між «людиною», «машиною» і «середовищем», при якій відображаються всі потрібні стани «машини» і «середовища», безпомилково приймається і обробляється інформація, немає перевантаження уваги і пам'яті.

**Біофізична сумісність** має на увазі створення такого «середовища», при якому забезпечується нормальний

фізіологічний стан «людини» і, при необхідності, його нормальна працездатність.

**Енергетична сумісність** має на увазі узгодження органів управління «машини» з можливостями «людини» відносно прикладених зусиль, затрачуваної потужності, швидкості і точності рухів окремих ділянок тіла людини.

**Просторово-антропометрична сумісність** має на увазі обрахування розмірів тіла людини, можливості обзору, просторового положення людини в процесі його діяльності.

**Техніко-естетична сумісність** має на увазі забезпечення задоволення «людини» від спілкування з «машиною» в процесі праці.

Дослідження впливу об'єктивних факторів на людину в системі «ЛМС» є метою створення для працівника оптимальних умов праці, що підвищує надійність його роботи.

Для дослідження надійності роботи людини потрібно виділити декілька головних типів систем, в яких головну роль виконує людина-оператор.

Всі системи, що експлуатуються, можуть бути в трьох основних режимах: «очікування» (система не функціонує), «підготовки» (підготовка до роботи) та «функціонування».

Є типи систем для яких притаманні всі три стани або системи, які мають один або два з вказаних.

Надійність роботи людини-оператора розглядається в системі яка працює в трьох режимах, оператор усуває відмови у всіх режимах, завжди готовий до роботи, активно працює, але може припускатися помилок в управлінні, тобто при безвідмовності системи виникають відхилення від заданої програми дій. Вірогідність правильного виконання завдання буде залежати як від безвідмовної роботи обладнання так і від помилок оператора і від можливості їх усунення.

Вірогідність правильного та своєчасного виконання завдання можна розрахувати за формулою

$$P_5 = P_4 \cdot S'_{cp} = R_4 [R'_{cp} + (1 - R'_{cp}) \cdot V'_{cp}] \quad (1)$$

де:  $P_5$  – вірогідність правильного виконання програми;  
 $P_4$  – вірогідність безвідмовної роботи системи 4 типу (система працює в трьох режимах, оператор усуває відмови у всіх режимах, завжди готовий до роботи, але не виконує управлінських дій). Розраховується за формулою:

$$P_4 = \sum_{i=1}^n H_i [A_i S_o + (1 - S_o) A_i H] S_n \cdot S_\phi \cdot S_{cp} \quad (2)$$

$S'_{cp}$  – вірогідність безпомилкової роботи оператора в режимі функціонування;

$R'_{cp}$  – вірогідність відсутності помилки;

$1 - R'_p$  – вірогідність виникнення помилки;

$V'_{cp}$  – вірогідність виправлення помилки.

### **Критерії оцінки діяльності оператора**

Одним з основних понять, що характеризують керування в системі «ЛМС», є *цикл регулювання*, під яким розуміється проміжок часу від моменту зміни стану керованого об'єкта до моменту повернення його в новий (необхідний) стан.

Людина, як ланка «ЛМС», характеризується швидкодією, надійністю, точністю роботи, напруженістю своєї діяльності.

**Показник швидкодії** – це час розв'язання задачі, тобто час від моменту реагування оператора на сигнал, що надійшов, до моменту закінчення керуючих впливів.

Надійність діяльності оператора характеризується ймовірністю прийняття правильного рішення.

Важлива характеристика діяльності оператора – точність його роботи. Надійність і точність являють собою різні характеристики, що оцінюють різні сторони діяльності оператора.

Під **точністю роботи** оператора варто розуміти ступінь відхилення деякого параметра, який вимірюється, установлюється чи регулюється оператором, від свого дійсного, заданого чи номінального значення.