



Міністерство освіти і науки України

**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА
ІМЕНІ ПЕТРА ВАСИЛЕНКА**

Навчально-науковий інститут технічного сервісу

**Кафедра експлуатації, надійності, міцності
та будівництва ім. В. Я. Аніловича**

ОЦІНЮВАННЯ НАДІЙНОСТІ РЕЗЕРВОВАНИХ СИСТЕМ

**Методичні вказівки до проведення практичних занять
з дисциплін «Надійність технологічних
систем в рослинництві»**

для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
денної та заочної форми здобуття освіти
зі спеціальності 208 «Агроінженерія»

Харків
2021

Міністерство освіти і науки України

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА ІМЕНІ ПЕТРА ВАСИЛЕНКА

Навчально-науковий інститут технічного сервісу

Кафедра експлуатації, надійності, міцності
та будівництва ім. В. Я. Аніловича

ОЦІНЮВАННЯ НАДІЙНОСТІ РЕЗЕРВОВАНИХ СИСТЕМ

Методичні вказівки до проведення практичних занять
з дисциплін «Надійність технологічних
систем в рослинництві»

для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
денної та заочної форм здобуття освіти
зі спеціальності 208 «Агроінженерія»

Затверджено рішенням
методичної Ради ННІ ТС
ХНТУСГ
Протокол №7
від 12 травня 2021р.

Харків
2021

УДК 631.3

О-93

Схвалено на засіданні
кафедри експлуатації, надійності, міцності та будівництва ім. В. Я. Аніловича
Протокол № 5 від 5 травня 2021 р.

Рецензенти:

В. В. Аулін, д-р. техн. наук, професор кафедри експлуатації та ремонту машин Центральноукраїнського національного технічного університету

В. Т. Дмитрів, д-р. техн. наук, професор кафедри проектування та експлуатації машин Національного університету "Львівська політехніка"

О-93 Оцінювання надійності резервованих систем: методичні вказівки до проведення практичних занять з дисциплін «Надійність технологічних систем в рослинництві» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної та заочної форми здобуття освіти зі спеціальності 208 «Агроінженерія» / Харків. нац. техн. у-т сіл. госп-ва ім. П. Василенка; уклад.: О.І.Алфьоров, В.Б.Савченко, В.І.Іванов. - Харків : [б. в.], 2021. - 11с.

Методичні вказівки «Оцінювання надійності резервованих систем» розроблено з метою надання практичних навичок студентам під час вирішення ними індивідуальних задач на практичних заняттях з дисципліни «Надійність технологічних систем в рослинництві». Включають необхідні теоретичні положення, які дозволяють отримати навички використання відповідних розрахункових методів. Методичні вказівки містять також варіанти індивідуальних завдань, приклад і вимоги щодо оформлення звіту про виконану роботу. В додатку надано довідковий матеріал.

Видання призначене для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної та заочної форм здобуття освіти зі спеціальності 208 «Агроінженерія»

Відповідальний за випуск: Є. І. Калінін, д-р. техн. наук, проф.

© О.І.Алфьоров, В.Б.Савченко,
В.І.Іванов,

© ХНТУСГ, 2021

Робота 2. ОЦІНЮВАННЯ НАДІЙНОСТІ РЕЗЕРВОВАНИХ СИСТЕМ

Мета роботи: вивчити методи забезпечення надійності резервованих систем, та отримати практичні навички оцінки надійності систем з різними варіантами комплектування їх резервними елементами.

Загальні положення

Надійність будь-якого об'єкту, незалежно від його структурної складності, можна визначати відомими класичними методами – спостерігаючи за процесом його роботи. З іншого боку, майже кожен об'єкт може розглядатись як система, що складається з окремих елементів, які мають свої значення показників надійності, а також певний порядок взаємодії між собою.

Як правило, визначати показники надійності окремих деталей або вузлів машини простіше, ніж надійність системи в цілому, оскільки для кожного окремого елемента системи легше організувати сталі режими випробувань. Крім того, при дослідженні надійності окремих елементів системи, завжди легше виключити їх взаємні впливи. Тому, на поточний час розроблено багато різноманітних методик і відповідних технічних засобів [1, 2], які призначені для проведення випробувань на надійність широкого спектру робочих органів сільськогосподарських машин, їх деталей і вузлів.

Більшість машин і агрегатів, з точки зору надійності, є системами з послідовною структурою. Відмова такої структури настає у разі відмови будь-якого її елемента [3]. Структурна схема структури з трьома послідовно з'єднаними (з точки зору надійності) елементами, наведена на рис. 1, а. В реального прикладу такої структури, можна розглянути ведучий міст трактора, в якому елемент 1 – це головна передача, а елементи 2 і 3 – лівий і правий бортові редуктори. Не дивлячись на те, що технічно бортові редуктори виконують свої функції паралельно, з точки зору надійності, їх слід розглядати як послідовну структуру, оскільки вихід з ладу кожного з них призводить до відмови ведучого моста в цілому.

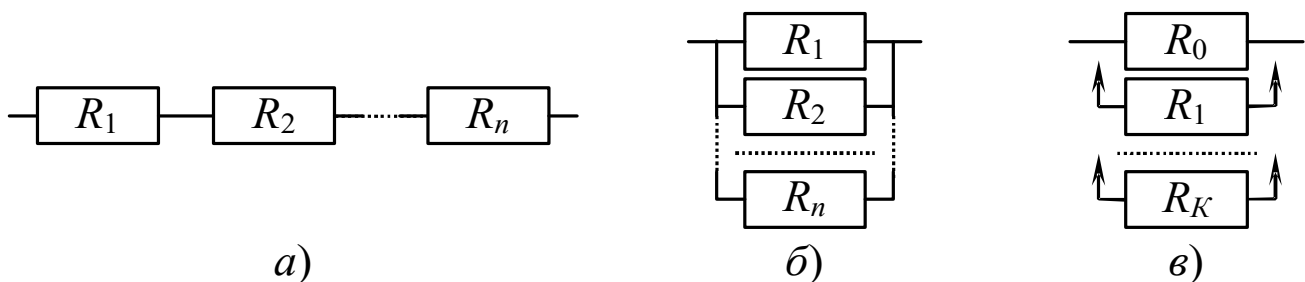


Рис.1. Структурні схеми з трьох елементів: а) – послідовне з'єднання; б) – паралельне з'єднання (постійне резервування); в) – резервування заміщенням.

Імовірність безвідмовної роботи послідовної системи при незалежних відмовах її елементів визначають за формулою:

$$R_c = \prod_{i=1}^n R_i = R_1 \cdot R_2 \cdot \dots \cdot R_n, \quad (1)$$

де R_1, R_2, \dots, R_n - імовірності безвідмовної роботи елементів.

При недостатній надійності окремих елементів системи, її надійність може бути підвищена шляхом резервування, тобто, введенням в систему додаткових (взятих у надмірній кількості) елементів. Резервування буває постійним (навантаженим), структура якого наведена на рис. 1, б, або може здійснюватися шляхом заміщення (рис. 1, в) резервованого елемента в разі потреби (не навантажений резерв). Постійне резервування називають паралельним з'єднанням елементів.

Слід зауважити, що при паралельному з'єднанні, всі елементи одночасно виконують свою основну функцію. Наприклад, якщо такою функцією є утримання певного навантаження, то це навантаження розподіляється між елементами в певних пропорціях. В разі відмови одного з постійно резервованих елементів, умови роботи всіх інших елементів системи змінюються – навантаження на них зростає, але система в цілому залишається в працездатному стані. Вважаючи, що відмови всіх n елементів системи (рис. 1б) є незалежними подіями, імовірність її безвідмовної роботи може бути визначена за формулою

$$R_c = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i) = 1 - (1 - R_1) \cdot (1 - R_2) \cdot \dots \cdot (1 - R_n), \quad (2)$$

де R_i – імовірність безвідмовної роботи основного і резервних елементів.

В реальних системах, з метою підвищення надійності, постійне резервування використовується значно рідше, ніж резервування заміщенням. Якщо мова йде про систему з постійним резервуванням, в якій кожен елемент має свою продуктивність, то в разі відмови одного з елементів, продуктивність системи знизиться на відповідну величину. Тому, резервування заміщенням може бути більш ефективним, оскільки забезпечує більш стабільне функціонування системи. При резервуванні заміщенням середній наробіток до відмови системи, яка складається з одного основного (того, що працює), і K резервних елементів, визначається за формулою [1]:

$$T_c = (1 + K) \cdot T_o, \quad (3)$$

де T_o – середній наробіток до відмови елемента.

Середнє квадратичне відхилення σ_c наробітку до відмови такої системи визначається з виразу

$$\sigma_c = \sigma_o \cdot \sqrt{1 + K}, \quad (4)$$

де σ_o – середнє квадратичне відхилення наробітку елемента.

З (3) і (4) випливає, що коефіцієнти варіації наробітку до відмови системи v_c і елемента v_o при резервуванні заміщенням пов'язані співвідношенням:

$$v_c = \frac{v_o}{\sqrt{1+K}}. \quad (5)$$

При розподілі наробітку до відмови системи за законом Вейбулла, його параметр форми b_c однозначно визначається величиною коефіцієнта варіації v_c . Ця залежність при $0,1 < v_c < 1,0$ з достатньою для практичного використання точністю може бути апроксимована наближеним виразом [3]:

$$b_c = \frac{1,126}{v_c} + \frac{0,011}{v_c^2} - 0,137, \quad (6)$$

звідки випливає, що

$$b_c = \frac{1,126}{v_o} \sqrt{1+K} + \frac{0,011}{v_o^2} (1+K) - 0,137. \quad (7)$$

Параметр масштабу розподілу наробітку до відмови системи, виходячи з (3), визначається по формулі [4]:

$$a_c = \frac{T_c}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{b_c}\right)} = \frac{(1+K)T_o}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{b_c}\right)}. \quad (8)$$

При зроблених припущеннях, імовірність безвідмовної роботи системи, яка складається з одного основного (того, що працює) і K резервних (запасних) елементів, які послідовно включаються в роботу при відмові основного, на заданому інтервалі часу T визначається з виразу:

$$R_c(T) = \exp \left\{ - \left[\frac{T \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{b_c}\right)}{T_o(1+K)} \right]^{b_c} \right\}, \quad (9)$$

в якому параметр b_c визначається за формулою (7).

Імовірність безвідмовної роботи елемента $R_o(T)$ на інтервалі T можна також визначати за формулою (9). Поклавши в ній $K=0$, отримаємо вираз:

$$R_o(T) = \exp \left\{ - \left[\frac{T \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{b_o}\right)}{T_o} \right]^{b_o} \right\}, \quad (10)$$

в якому параметр форми b_o у відповідності з (7) визначається по формулі:

$$b_o = \frac{1,126}{v_o} + \frac{0,011}{v_o^2} - 0,137. \quad (11)$$

Величина $R_c(t)$ визначає імовірність того, що за період T не наступить стан, при якому подальше відновлення системи (ремонт) буде неможливим через відсутність резервних елементів. Імовірність того, що у будь-який момент часу система не знаходиться в стані відновлення за наявності резервних елементів, визначається величиною коефіцієнта готовності K_c .

Імовірність того, що за час T система не витратила всі резервні елементи, і що вона (система) не знаходиться в стані відновлення, визначається добутком вказаних вище ймовірностей. Цей комплексний показник надійності резервованих (способом заміщення) систем, називають коефіцієнтом оперативної готовності $K_{oz}(T)$:

$$K_{oz}(T) = K_c \cdot R_c(T). \quad (12)$$

Величина цього показника відповідає заданому інтервалу часу роботи T , із збільшенням якого коефіцієнт оперативної готовності монотонно зменшується. З його допомогою можна визначити кількість працездатних машин до кінця періоду T :

$$N_p(T) = N \cdot K_{oz}(T),$$

де N – загальна кількість машин.

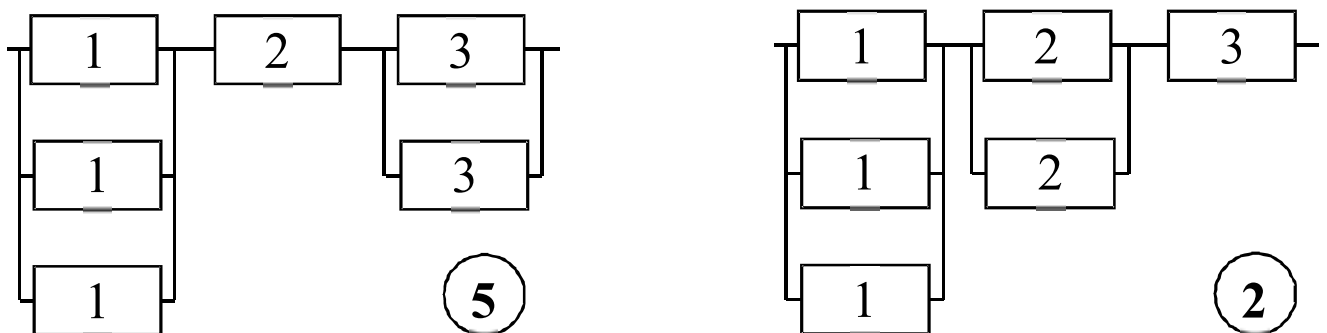
(Зразок оформлення звіту про виконане завдання)

ОЦІНЮВАННЯ НАДІЙНОСТІ РЕЗЕРВОВАНИХ СИСТЕМ

Завдання: Розрахувати імовірність безвідмовної роботи двох варіантів резервованої системи, і зробити висновок про те, який з них є більш ефективним.

** Запропонувати схему резервування, яка при наявних значеннях R_1 , R_2 і R_3 , буде найефективнішою на Ваш погляд (в прикладі не розглянуто).*

Вихідні дані: $R_1 = 0,89$; $R_2 = 0,80$; $R_3 = 0,92$; Схеми - 5 і 2 (див. додаток А).



Будемо розглядати варіант використання паралельного з'єднання елементів системи. Визначаємо імовірність безвідмовної роботи по схемі 5.

В даному випадку, три елементи системи працюють послідовно. Перший і третій елементи системи мають постійний резерв. У другого елемента резерву немає. Отже, імовірність безвідмовної роботи резервованих елементів системи, у відповідності до формули (2), буде дорівнювати:

$$R_{c1} = 1 - (1 - R_1) \cdot (1 - R_1) \cdot (1 - R_1) = 1 - (1 - R_1)^3 = 1 - (1 - 0,89)^3 = 0,9987;$$

$$R_{c2} = R_2 = 0,8;$$

$$R_{c3} = 1 - (1 - R_3)^2 = 1 - (1 - 0,92)^2 = 0,9936.$$

Тоді імовірність безвідмовної роботи резервованої системи

$$R_c^{5*} = R_{c1} \cdot R_{c2} \cdot R_{c3} = 0,9987 \cdot 0,8 \cdot 0,9936 = 0,7938.$$

Визначаємо імовірність безвідмовної роботи по схемі 2.

В даному випадку три елементи з'єднані послідовно, при чому перший та другий мають постійне резервування паралельним з'єднанням, а третій елемент – не резервований. Враховуючи це, визначимо імовірність безвідмовної роботи резервованих елементів:

$$R_{c1} = 1 - (1 - R_1) \cdot (1 - R_1) \cdot (1 - R_1) = 1 - (1 - R_1)^3 = 1 - (1 - 0,89)^3 = 0,9987;$$

$$R_{c2} = 1 - (1 - R_2) \cdot (1 - R_2) = 1 - (1 - R_2)^2 = 1 - (1 - 0,8)^2 = 0,96;$$

$$R_{c3} = R_3 = 0,92;$$

$$R_c^{2*} = R_{c1} \cdot R_{c2} \cdot R_{c3} = 0,9987 \cdot 0,96 \cdot 0,92 = 0,8821.$$

Висновок: Порівнюючи імовірності безвідмовних робіт, можемо зробити висновок про те, що схема резервування номер два має кращий показник надійності:

$$R_c^{2*} = 0,8821 > R_c^{5*} = 0,7938.$$

Питання для самоконтролю

1. Наведіть приклад простого об'єкта, який не може розглядатися як система, що складається з декількох елементів?
2. Чи завжди структурна схема надійності системи, яка розглядається, співпадає з технологічною схемою її роботи?
3. Які варіанти структурних схем надійності використовують при з'єднанні елементів в системі?

4. Яким чином змінюються показники надійності системи при збільшенні кількості послідовно з'єднаних елементів.

5. Яким чином змінюються показники надійності системи при збільшенні кількості паралельно з'єднаних елементів.

Рекомендована література

1. Міцність та надійність машин: Навчальний посібник /В.Я.Анілович, О.С.Гринченко, В.В.Карабін, В.О.Літвінов, В.Л.Литвиненко, за ред. В.Я.Аніловича. – К., Урожай, 1996. 288с.
2. Анилович В.Я., Гринченко А.С., Литвиненко В.Л. Надежность машин в задачах и примерах /За ред. В.Я.Аниловича. – Харьков: Око, 2001. – 320с.
3. Гринченко А.С. Механическая надежность мобильных машин: оценка, моделирование, контроль – Х.:Віронець А.П. «Апостроф», 2012. – 259 с.
4. Надійність машин: Практикум / О.С.Гринченко, В.Г.Кухтов, О.І.Алфьоров, В.Б.Савченко, Є.І.Калінін, В.І.Іванов, Г.П.Юр'єва; За ред. О.С.Гринченка, В.Г.Кухтова. – Х.: ТОВ «Планета-принт», 2018. 140 с.

Вихідні дані до задачі 2.

Вихідні дані обираються у відповідності до індивідуального шифру студента, який визначається викладачем. Шифр – тризначне число.

Значення імовірностей безвідмовної роботи елементів системи

№ рядка	R_1	R_2	R_3
1	0,81	0,98	0,89
2	0,83	0,96	0,92
3	0,85	0,94	0,94
4	0,87	0,92	0,96
5	0,89	0,90	0,98
6	0,91	0,88	0,99
7	0,93	0,86	0,97
8	0,95	0,84	0,95
9	0,97	0,82	0,93
0	0,99	0,80	0,91

Значення імовірностей безвідмовної роботи елементів системи обираються із відповідних стовпчиків таблиці. Номери рядків мають дорівнювати відповідним цифрам шифру. Наприклад, шифру **502** відповідають такі значення:

$R_1 = 0,89$ – обирається по першій цифрі шифру – **5**

$R_2 = 0,80$ – обирається по другій цифрі шифру – **0**

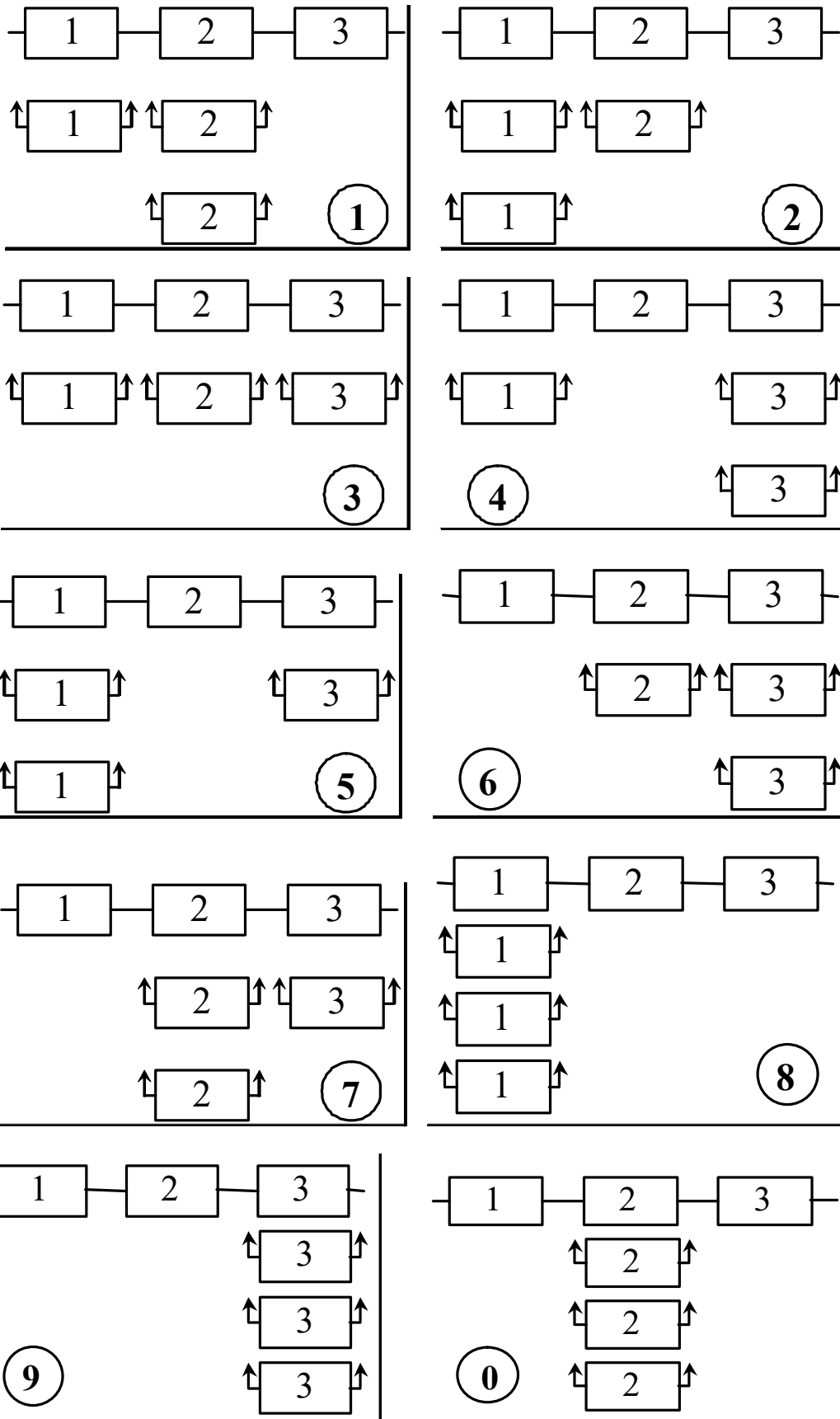
$R_3 = 0,92$ – обирається по третій цифрі шифру – **2**

Два варіанти структурних схем системи обираються по першій и останній цифрам шифру. Наприклад, для шифру **502**, з додатку Б слід вибрати схеми номер **5** і номер **2**.

**) Звіт про виконання практичного завдання може бути оформлений у вигляді отсканованого/сфотографованого рукопису, або в електронному вигляді – як текст в редакторі MS Word. Файл звіту має бути надісланий для перевірки на електронну пошту викладача.*

Адреса електронної пошти: svit-v@khntusg.info

Варіанти структурних схем резервованої системи.



ОЦІНЮВАННЯ НАДІЙНОСТІ РЕЗЕРВОВАНИХ СИСТЕМ

Методичні вказівки до проведення практичних занять
з дисциплін «Надійність технологічних
систем в рослинництві»

Укладачі:

АЛФЬОРОВ Олексій Ігорович,
САВЧЕНКО Володимир Борисович,
ІВАНОВ Володимир Іванович,

Формат 60×84 1/16. Гарнітура Times New Roman.
Папір для цифрового друку. Друк принтерний.
Умов. друк. арк. 0,64
Наклад 100 примірників.