

УДК 519.252

DOI: 10.25140/2411-5363-2020-1(19)-140-155

Світлана Корнієнко, Ігор Корнієнко,
Володимир Дмитрієв, Анатолій Павленко, Дмитро Камак

ФОРМУВАННЯ КІЛЬКІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВИПРОБУВАНЬ ДЛЯ ОДЕРЖАННЯ ТОЧКОВИХ ОЦІНОК ЗАДАНОЇ ЯКОСТІ

Актуальність теми дослідження. Одне з найважливіших і трудомістких завдань при підготовці методик випробувань полягає в розрахунках кількісних характеристик випробувань, автоматизація яких при масовому проведенні випробувань стає актуальним завданням.

Постановка проблеми. Ефективність функціонування випробувальної організації визначається часовими та якісними характеристиками проведення випробувань, де під якістю випробування розуміється відповідність одержаних оцінок параметрам випробувальних зразків. Вірогідність оцінок досягається неухильним та правильним проведенням випробування відповідно до розробленої методики, у якій вказуються, зокрема кількісні характеристики випробування конкретного зразка.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогодні є багато фундаментальних праць з питань планування експериментів, обробки їх результатів та одержання оцінок заданої якості. Останнім часом чимало наукових робіт присвячено автоматизації процесів підготовки, проведення та обробки результатів випробувань.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Алгоритмізація та автоматизація процесів планування у випробувальній організації має на меті суттєве спрощення, прискорення та позбавлення помилок при розробці методик випробування озброєння та військової техніки.

Постановка завдання. Для моделювання процесів функціонування випробувальної організації і знаходження оптимальних режимів структури та параметрів виробничого процесу пропонується використання аналітичної моделі теорії систем масового обслуговування. Одним зі структурних елементів моделі має бути модуль планування випробувань, для якого необхідно розробити та підготувати до алгоритмування математичний апарат визначення кількісних характеристик плану проведення випробувань для одержання точкових оцінок параметрів зразку заданої точності й надійності, а також витрати надійності точкової оцінки внаслідок змушеного зменшення кількості випробувань.

Виклад основного матеріалу. Сформовано структурно-функціональну схему модуля розрахунків кількісних характеристик випробувань. Розглянуто теоретичне питання одержання точкових оцінок параметрів випробувального зразку заданої точності та надійності. Обчислені кількісні характеристики випробувань для стандартизованих значень точності та надійності. Розглянуто питання зниження надійності оцінок при вимушеному зменшенні кількості дослідів. Визначені кількісні характеристики серійності випробувань для забезпечення надійності оцінок.

Висновки відповідно до статті. Застосування розглянутого математичного апарату визначення кількісних показників плану проведення випробувань для одержання точкових оцінок параметрів зразку заданої точності й надійності в системі планування та управління випробуваннями дозволить суттєво скоротити часові витрати на підготовку до випробування, а алгоритмізація та подальша автоматизація дасть змогу уникнути впливу людського чинника при підготовці методик випробування.

Ключові слова: випробування; автоматизація; оцінка; точність; надійність.

Табл.: 7. Рис.: 7. Бібл.: 20.

Актуальність теми дослідження. Одне з найважливіших і трудомістких завдань при підготовці методик випробувань полягає в розрахунках кількісних характеристик випробувань, автоматизація яких при масовому проведенні випробувань стає актуальним завданням.

Постановка проблеми. Проведення випробувань озброєння та військової техніки (ОВТ) являє собою складний процес підтвердження придатності виробів до практичного застосування. Одним із відповідальних та трудомістких етапів випробування є безпосередньо планування випробування та розробка програми (плану) і методики проведення експериментальних досліджень. Характерною ознакою планування є те, що незважаючи на унікальність випробувальних зразків, сама процедура планування має певну типовість, що дозволяє алгоритмізувати її, а відповідно, й автоматизувати. Правильно поставлена задача з автоматизації будь-яких процесів або систем призвана не тільки спростити ручну працю, і за рахунок цього сягнути нових часових характеристик виконання завдань, але й застосувати оптимізаційні механізми та процедури, що виведе виробничий процес (у нашому випадку випробувальний) на новий рівень якості.

Важливим чинником успішного розв'язання задачі оптимального планування випробувань є визначення мінімально необхідних, але достатніх кількісних характеристик плану випробування того чи іншого конкретного зразка ОВТ. Планування проведення випробувань у частині одержання достовірних оцінок придатності зразку до виконання завдань за призначенням ґрунтується на методах теорії ймовірностей, математичної

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

статистики та теорії планування експериментів з урахуванням впливу певних обмежувальних факторів, які найбільше притаманні саме ОБТ і які можуть обмежувати кількість проведених дослідів, зокрема вартість зразку, наслідки проведення експерименту, часові терміни підготовки та виготовлення зразку тощо.

Такі обмеження встановлюються експертами (фактично в ручному режимі з урахуванням можливих наслідків для надійності та точності оцінок випробувальних зразків) з огляду на конкретні умови й можливості проведення експерименту. Тут для створення підсистеми адекватного планування кількості випробувань (що фактично є аналогом існуючих систем підтримки виробничого процесу) доцільно мати інструмент (програмний модуль), який дозволить у режимі реального часу розраховувати потрібні кількісні характеристики випробувального процесу, наочно їх представляти та давати оцінки наслідків фактичного зменшення кількості випробувань. Така система буде аналогом системи підтримки експертних рішень.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Нині теорія планування експериментів та випробувань має достатньо розвинений математичний апарат. Фундаментальні праці, наприклад [1-7], розглядають теоретичні викладки та практичну реалізацію методів математичної статистики при одержанні ймовірнісних результатів експериментів та їх оцінювання. Чималий розвиток одержала математична теорія експерименту, яка досліджувалася багатьма вченими в різних наукових сферах, наприклад [8-12], і в якій нині активно продовжуються відшукування нових теорій і методів одержання принципово нових якісних результатів, наприклад [13-16], у тому числі в задачах автоматизації випробувань та експериментів [17].

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Випробування певного зразка ОБТ має на меті підтвердження або спростування його якості через фактичне визначення та підтвердження значень параметрів тактико-технічних характеристик, що були задані замовником. Попри те, що характеристики можуть мати якісний або кількісний характер, їх підтвердження переважно здійснюється за двома можливими випадками:

1. У процесі випробувань зразка одержана оцінка w_i його певної i -ої характеристики h_i , при цьому значення оцінки максимально наближене до значення заявленої характеристики

$$|w_i - h_i| = \varepsilon_i; \varepsilon_i \rightarrow 0, \quad (1)$$

де ε – точність (відхилення) одержаної оцінки.

2. У ході випробувань зразка одержана оцінка w_i його певної i -ої характеристики h_i , при цьому значення оцінки є не гірше значення заявленої характеристики

$$w_i \geq h_i; Q(h_i) \rightarrow \max; w_i \leq h_i; Q(h_i) \rightarrow \min. \quad (2)$$

Сутність таких двох нерівностей полягає в тому, що в першій нерівності якість характеристики вважається максимальною при зростанні її значення; у другій нерівності, навпаки, значення характеристики повинно бути мінімальним. Тут виконання нерівності (2) фактично є підтвердженням, що задана замовником тактико-технічна характеристика зразка підтверджена.

Відповідно, підсистема планування кількості випробувань має враховувати всі перелічені випадки та дозволяти здійснювати розрахунки не лише кількісних характеристик плану випробувань для отримання оцінки w_i заданої якості, але й оцінювати зниження показників якості w_i при навмисному обмеженні кількості або тривалості випробувань. Подібні автоматизовані розрахунки потребуватимуть алгоритмування чітко представленого математичного апарату розрахунку кількісних характеристик плану випробувань.

На цьому етапі розглянемо математичний апарат одержання точкової оцінки характеристики досліджуваного зразка заданої точності та надійності для випадку (1).

Постановка завдання. Є випробувальна організація, основне функціональне призначення якої – проведення повного циклу випробувань зразків ОБТ, що включає зокрема й підготовку методик проведення випробування. Одним з основних завдань методики є опис порядку проведення випробувань з метою одержання точних та достовірних оцінок показників тактико-технічних характеристик ОБТ. Для одержання оцінок заданої якості використовують математичний апарат теорії ймовірностей та математичної статистики, а також методи планування експерименту, автоматизація застосування яких дозволить суттєво скоротити час на підготовку методик та прибрати людський фактор як джерело можливих помилок плану випробувань.

Необхідно розробити та підготувати до алгоритмування математичний апарат визначення кількісних показників плану проведення випробувань для одержання точкових оцінок параметрів зразка заданої точності й надійності, а також оцінці наслідків навмисного зниження кількісних параметрів плану випробувань.

Виклад основного матеріалу. Управління процесами планування, підготовки та проведення випробувань у випробувальній організації потребує відшукування оптимальних рішень. Зважаючи на динамічність усіх процесів у випробувальній організації, певну унікальність (неповторність у певних межах) виконання технологічних операцій над тим чи іншим зразком ОБТ, у [18; 19] запропоновано використання аналітичного апарату систем масового обслуговування (СМО) для одержання оцінок ефективності випробувальних процесів (загальна схема представлення процесів у випробувальній організації наведена на рис. 1).

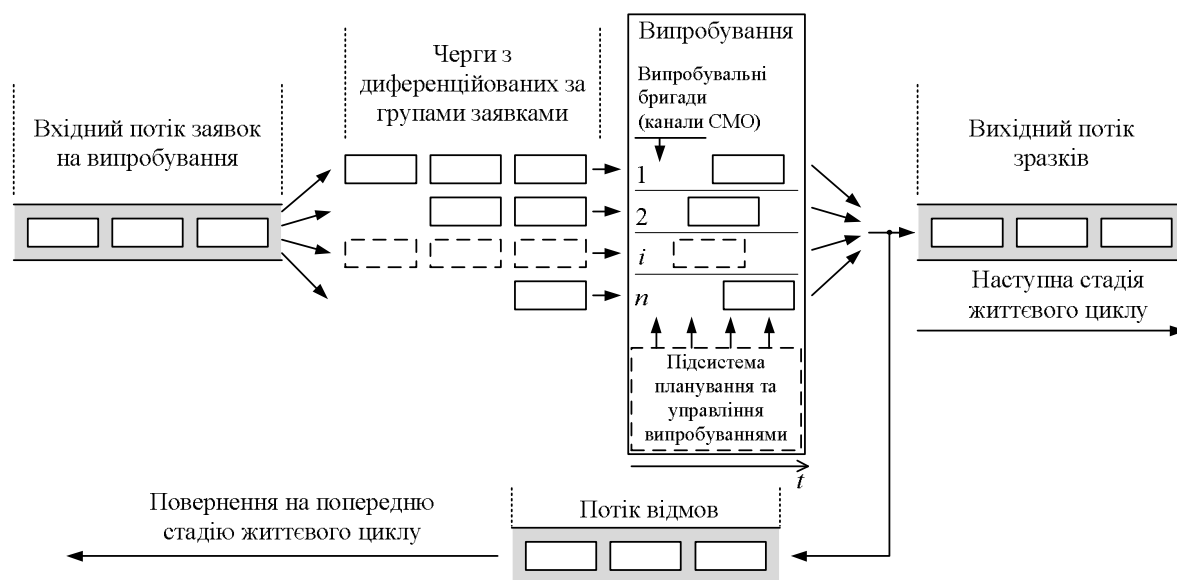


Рис. 1. Загальне представлення моделі СМО випробувань

У межах мети цієї статті становить інтерес «Підсистема планування та управління випробуваннями», а саме функціонування модуля «Планування кількості випробувань», структурно-функціональну схему якого (у частині розрахунків кількісних параметрів випробувань) представимо у вигляді блок-схеми (рис. 2).

На схемі рис. 2 позначено $H_z \in \{h_1, h_2, \dots, h_m\}$ – заданий набір параметрів випробувального зразка, n – кількість випробувань, ε, γ – відповідно точність та надійність оцінок випробування, $n', \varepsilon', \gamma'$ – кориговані показники кількості випробувань, точності та надійності оцінок.

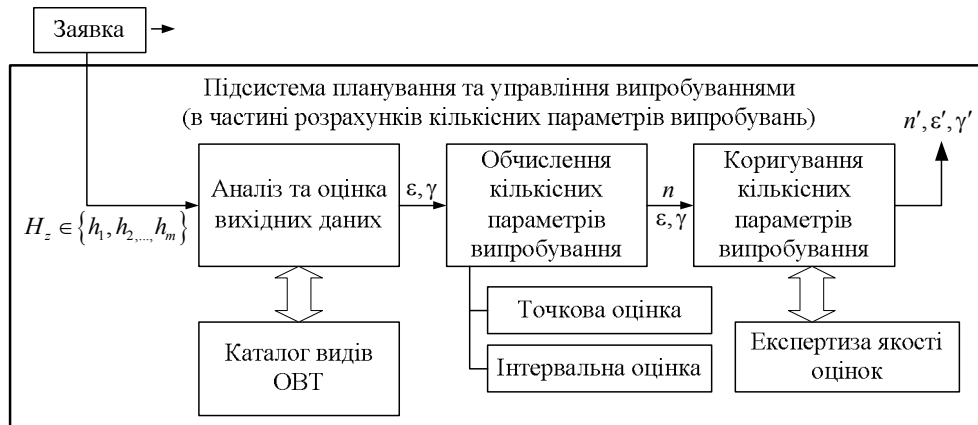


Рис. 2. Фрагмент підсистеми планування та управління випробуваннями

Розглянемо процес планування кількісних характеристик випробувань. Існує два можливих випадки планування кількості випробувань, які визначаються конкретним видом випробування:

1. Є зразок, який потрібно оцінити по деякій кількості дослідів n та визначити ймовірність його успішного функціонування, або потрібно підтвердити характеристику, при цьому початкова ймовірність реалізації такої характеристики невідома або вона недостовірна.

2. Задана початкова ймовірність для реалізації певної характеристики досліджуваного зразка, де в результаті випробувань необхідно її підтвердити.

Оскільки результат випробування, а саме одержана оцінка характеристики, завжди носить ймовірнісний характер, то для автоматизації процесів планування і закладання математичного апарату в алгоритм, необхідно визначити мінімальну кількість повторень дослідів випробування, для одержання оцінок, які володіють потрібною точністю та надійністю.

Розглянемо перший випадок, коли невідома початкова реалізація характеристики, і визначимо для неї кількість необхідних послідовних повторень того ж самого випробування у відносно однакових умовах проведення, при цьому кількість повторень випробування має забезпечити одержаний результат (оцінку) наперед заданій точності й надійності. Початкова реалізація характеристики здебільшого задається ймовірністю появи події – «успіху» в цій характеристиці будь-то при випробуваннях або при штатному функціонуванні зразка. Для спрощення розглядів можливих варіацій випробувань введемо деякі припущення:

– «успіх» випробування визначається одержаним позитивним результатом виконання вимог (1);

– «успіх» у кожному випробуванні не залежить від настання чи ненастання в кожному попередньому і не впливає на «успіх» у кожному наступному випробуванні.

Очевидно, що при проведенні випробувань частота появи «успіхів» повинна прямувати до числа дослідів (повторень випробування), або принаймні не бути меншою, ніж заявлена ймовірнісна характеристика певного досліджуваного зразка й повинна бути однаковою для всіх послідовних випробувань. Позначимо заявлену ймовірнісну характеристику деякого параметра зразка через p , яка з логічних міркувань має знаходитись у межах $0 < p \leq 1$, а відносну частоту «успіхів» при проведенні натурних випробувань через W , $W = \frac{k}{n}$, де k – число «успіхів» у проведеній випробувань з n повторень; тоді

для забезпечення необхідної точності оцінки повинна виконуватись умова $|W - p| < \varepsilon$, де ε – наперед задана як завгодно мала величина (мале число), яку назвемо заданою точністю. Виконання цієї умови дозволить стверджувати про те, що зразок відповідає заявленій характеристиці.

Із закону великих чисел (теорема Бернуллі) відомим фактом є те, що при великій кількості повторень випробувань ($n \rightarrow \infty$) відхилення відносної частоти W від заявленої характеристики p є практично вірогідною подією: $\lim_{n \rightarrow \infty} P(|W - p| < \varepsilon) = 1$, при чому у [1] зазначено, що така ймовірність фактично настає при $n \rightarrow 500$. На практиці, у більшості випадків випробувань зразків ОБТ, така кількість повторень фактично неможлива, оскільки той самий зразок неможливо використати безліч разів і при цьому стверджувати, що випробування проведені в однакових умовах, оскільки кожного разу дослідний зразок піддається впливу певних факторів «пошкодження» (що впливає на надійність зразка), або потрібно мати велику кількість однакових однотипних зразків, що також у більшості випадків нездійснено на практиці (фактично це визначає масове виробництво зразка, що неможливо через велику вартість такого несерійного виробництва, складність технологічних процедур виготовлення, великих часових затрат на виготовлення і втрата актуальності або потреби зразка, складна економічна ситуація, шкідливі екологічні або соціальні наслідки виконання випробувань тощо).

Для практичної оцінки здійснення нерівності $|W - p| < \varepsilon$ використовують функцію Лапласа $\Phi(x)$ [1-3],

$$P(|W - p| < \varepsilon) \approx 2\Phi(x) \quad (3)$$

де $x = \varepsilon \sqrt{\frac{n}{pq}}$, q – імовірність ненастання «успіху» у результаті випробування, $q = 1 - p$.

При проведенні випробувань на початкових стадіях дослідження певного зразка теоретична імовірнісна характеристика p є однаковою для всіх випробувань, але часто невідомою, а отже, невідомою є і величина q . Проте на початку випробування задана точність відхилення ε і надійність оцінки зразку γ , $0 < \gamma < 1$, тобто $\lim_{n \rightarrow \infty} P(|W - p| < \varepsilon) \approx \gamma$, тоді з формули (3)

$$2\Phi(x) = \gamma; \quad \Phi(x) = \frac{\gamma}{2}. \quad (4)$$

За таблицею значень функції Лапласа нескладно знайти значення x_γ , яке відповідає надійності γ і з рівності:

$$x_\gamma = \varepsilon \sqrt{\frac{n}{pq}} \quad (5)$$

для заданої точності ε знайти кількість дослідів (повторень випробувань) n .

Для технічних виробів рівень надійності оцінок γ часто прийнято обирати рівним 0,99, 0,95, 0,90 або 0,80 [19]. Для забезпечення надійності оцінки $\gamma \geq 0,95$ при використанні (4) значення функція Лапласа становить $\Phi(x) \geq 0,475$, де аргумент набуває значення $x_\gamma \geq 1,96$, а відповідно і

$$\varepsilon \sqrt{\frac{n}{pq}} \geq 1,96. \quad (6)$$

Оскільки значення pq у (6) невідомо, але знаємо, що $pq = p(1 - p) = p - p^2$, то можна оцінити значення pq за графіком функції $\varphi(p) = p - p^2$.

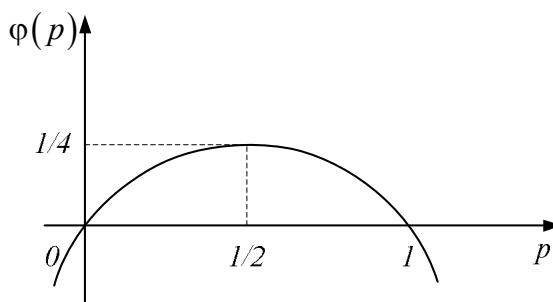


Рис. 3. Графік функції $\varphi(p)$

З графіка рис. 3 видно, що значення, яке може приймати добуток ймовірностей pq , буде в інтервалі

$$0 < pq \leq \frac{1}{4}, \tag{7}$$

або в інтервалі $0 < \sqrt{pq} \leq 0,5$.

Оскільки $0 < \sqrt{pq} \leq 0,5$, то $2\varepsilon\sqrt{n}$ (з нерівності (6)) є найменшим значенням, що може приймати $\varepsilon\sqrt{\frac{n}{pq}}$, звідси очевидно однозначне виконання нерівності

$$\varepsilon\sqrt{\frac{n}{pq}} \geq 2\varepsilon\sqrt{n}. \tag{8}$$

З нерівностей (6) і (8) випливає, що $2\varepsilon\sqrt{n} \geq 1,96$. Звідси

$$n \geq \left(\frac{1,96}{2\varepsilon}\right)^2. \tag{9}$$

Одержане у (9) число n на початку досліджень зразка показує, скільки потрібно провести повторень випробування з надійністю $\gamma \geq 0,95$, щоб частота появи успіху W відхилялася від p не більше ніж ε . Графік залежності кількості початкових випробувань для різних значень точності ε і надійності γ наведений на рисунку 4.

Зрозуміло, що при достатньо малому ε частоту W можна прийняти за початкову ймовірнісну характеристику p деякого параметра зразку.

Зауважимо, що одержані значення кількості повторень випробування апіорі гарантують визначення початкових ймовірнісних характеристик параметрів зразка на найгірший випадок повної невизначеності щодо якості зразка, коли $p = q = 0,5$.

Чисельні показники кількості початкових випробувань для дискретних значень точності та надійності (відповідно до прийнятих значень [20]) наведені в табл. 1.

Оцінимо межі надійного інтервалу для одержаної початкової ймовірнісної характеристики p . Оскільки величина точності ε може бути різною для низки випробувань, то з формули (3) при надійності γ

$$P(|W - p| < \varepsilon) \approx \gamma$$

можна одержати, що шукана p повинна знаходитись у межах $(W - \varepsilon \leq p \leq W + \varepsilon)$, тобто

$$P(W - \varepsilon \leq p \leq W + \varepsilon) \approx \gamma, \tag{10}$$

що визначається як надійний (довірчий) інтервал. Однак цей інтервал містить величину ε , яка також може змінюватись залежно від вимог до точності одержання оцінки.

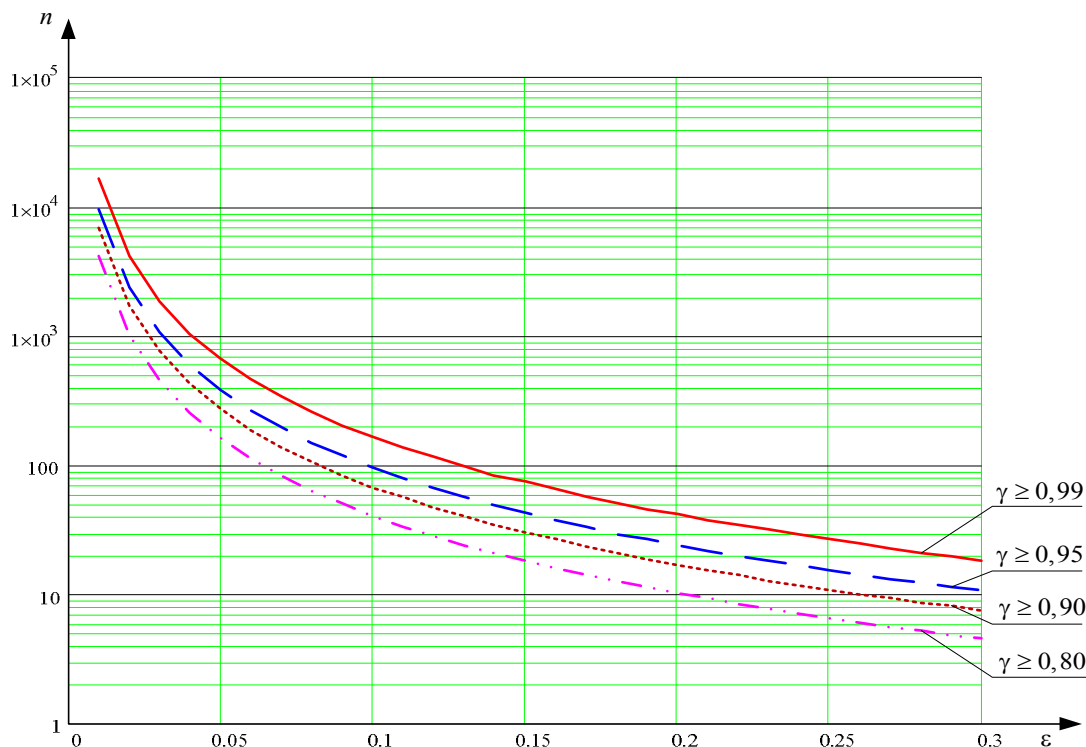


Рис. 4. Графік залежності кількості повторень випробування для різних значень точності й надійності оцінки

Таблиця 1

Мінімальна кількість початкових випробувань

γ	x _γ	ε				
		0,01	0,05	0,1	0,15	0,2
0,99	2,58	16641	666	165	74	42
0,95	1,96	9604	385	97	43	25
0,90	1,65	6806	273	69	31	18
0,80	1,29	4161	167	42	19	11

За умови відсутності такої вимоги можна оцінити одержаний результат випробувань, незважаючи на відсутність величини ε. Використавши (5), одержимо $\varepsilon = x_\gamma \sqrt{\frac{pq}{n}}$ з

урахуванням інтервалу (7) маємо $\varepsilon \leq \frac{x_\gamma}{2\sqrt{n}}$. За прийнятими умовами надійності γ і

$P(|W - p| < \varepsilon) \geq \gamma$ співвідношення (10) матиме такий вигляд

$$P\left(W - \frac{x_\gamma}{2\sqrt{n}} \leq p \leq W + \frac{x_\gamma}{2\sqrt{n}}\right) \geq \gamma.$$

Це означає, що при надійності γ шукана початкова ймовірнісна характеристика p певного параметра зразка при проведенні n повторень випробування потрапляє в надійний інтервал $\left(W - \frac{x_\gamma}{2\sqrt{n}}; W + \frac{x_\gamma}{2\sqrt{n}}\right)$, на підставі чого можна прийняти

$p \approx W \pm \frac{x_\gamma}{2\sqrt{n}}$. Надійні інтервали p для прийнятих значень надійності [19] залежно від

кількості повторень дослідів наведено на рис. 5.

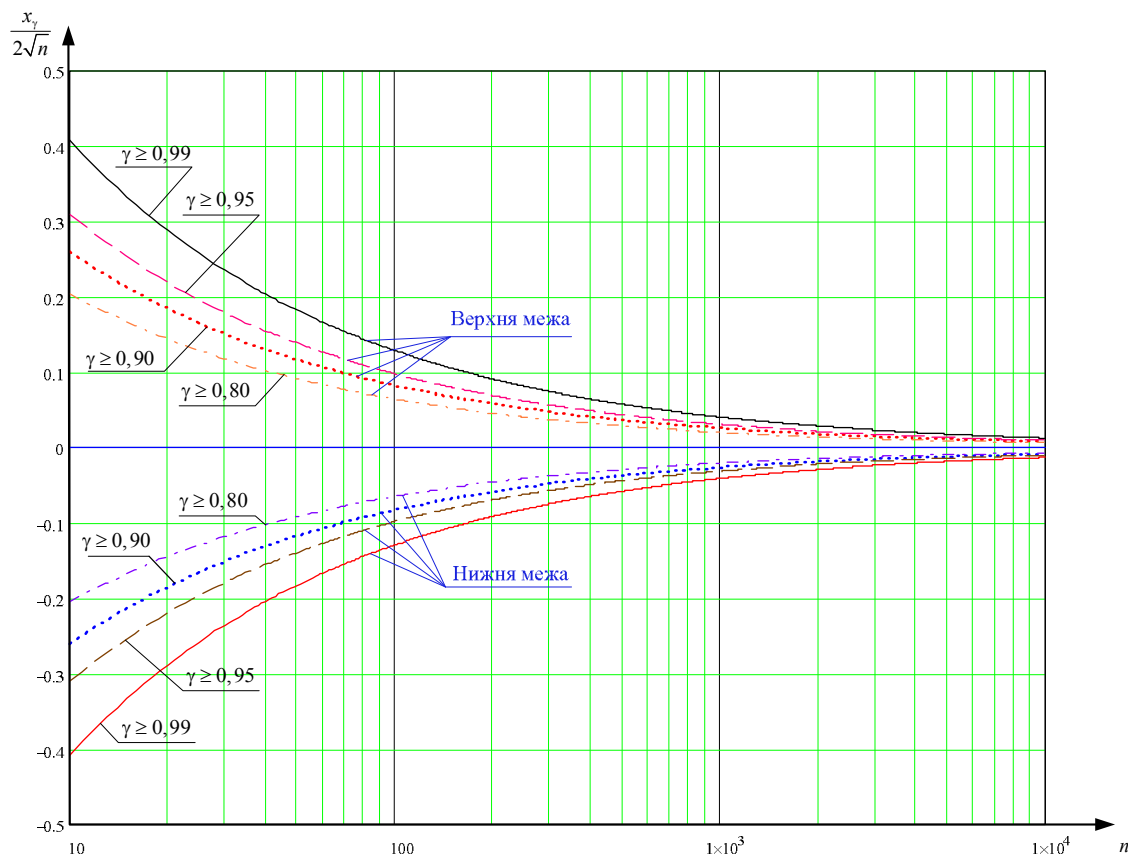


Рис. 5. Надійний інтервал для початкової ймовірнісної характеристики p для різних значень n та надійності γ

Фактично, графік на рис. 5 показує потенційно можливий розкид початкової ймовірнісної характеристики навколо експериментально знайденої частоти W (яка для наочності умовно прийнята за нульовий відлік). Відповідно замінюючи p частотою W ми робимо помилку не більше ніж $\frac{x_\gamma}{2\sqrt{n}}$, але забезпечення необхідної надійності оцінки потребуватиме збільшення кількості повторень експерименту. Тут потрібно зазначити, що коли γ обрано достатньо близько до 1 можна стверджувати, що в одиничній серії випробувань надійний інтервал завжди покриває значення p . Отже, маємо значення початкової ймовірнісної характеристики p параметра досліджуваного зразку та відповідний надійний (довірчий) інтервал.

При проведенні випробувань другого типу, наприклад визначальних відомчих випробувань, початкова ймовірнісна характеристика p вже задана замовником і є відомою величиною. Тут постає питання, яку мінімальну кількість повторень дослідів потрібно провести для того, щоб з ймовірністю, не меншою за γ , частота настання подій W відхилася від заданої ймовірнісної характеристики деякого параметра не більше ніж на ε . Якщо є початкова ймовірнісна характеристика p , то з формули (5)

$$n \geq \left(\frac{x_\gamma}{\varepsilon} \right)^2 pq, \tag{11}$$

а для заданого значення надійності $\gamma \geq 0,95$ кількість повторень випробувань $n \geq \left(\frac{1,96}{\varepsilon}\right)^2 pq$. З (11) неважко бачити, що на кількість дослідів суттєво впливає величина p , і при наближенні її до одиниці, мінімально необхідна кількість повторень випробувань суттєво знижується (рис. 6).

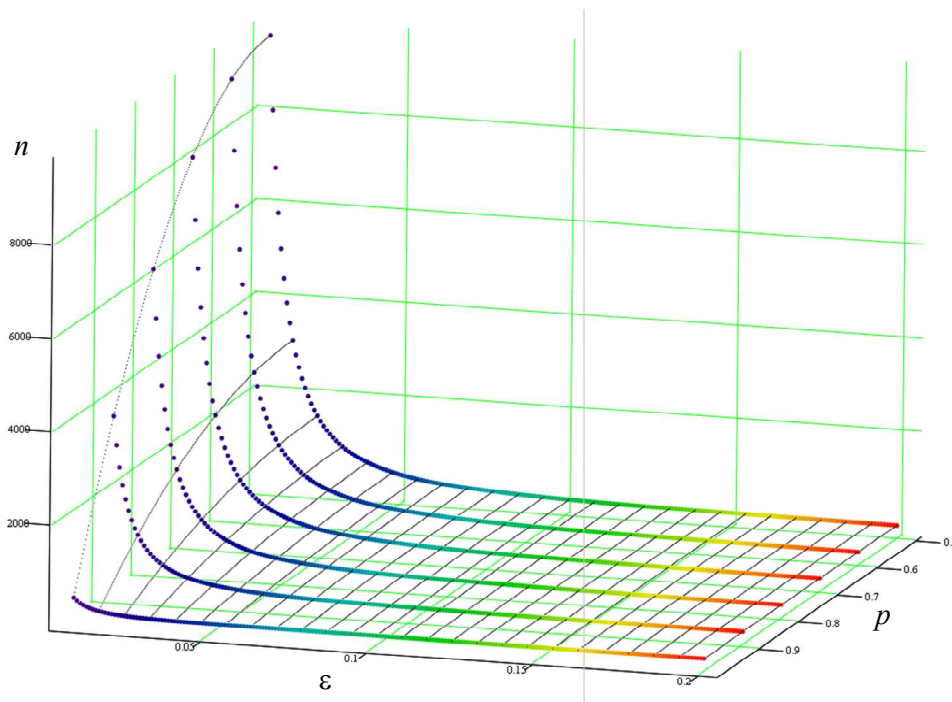


Рис. 6. Залежність кількості дослідів n від ймовірнісної характеристики параметра p та точності ε при $\gamma \geq 0,95$

Для кращої наочності в табл. 2 наведені розрахунки мінімальної кількості повторень випробування для початкових ймовірнісних характеристик, що приймають значення $p = \{0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 0,95; 0,99\}$, які проведені за формулою (11).

Таблиця 2

Мінімально необхідна кількість повторень випробування n для різних значень початкової ймовірнісної характеристики

p	$\gamma \geq 0,8$				$\gamma \geq 0,9$				$\gamma \geq 0,95$				$\gamma \geq 0,99$			
	ε				ε				ε				ε			
	0,05	0,1	0,15	0,2	0,05	0,1	0,15	0,2	0,05	0,1	0,15	0,2	0,05	0,1	0,15	0,2
0,6	160	40	18	10	262	66	30	17	369	93	41	24	640	160	72	40
0,7	140	35	16	9	229	58	26	15	323	81	36	21	560	140	63	35
0,8	107	27	12	7	175	44	20	11	246	62	28	16	427	107	48	27
0,9	60	15	7	4	99	25	11	7	139	35	16	9	240	60	27	15
0,95	32	8	4	2	52	13	6	4	73	19	9	5	127	32	15	8
0,99	7	2	1	1	11	3	2	1	16	4	2	1	27	7	3	2

Одержані кількісні характеристики випробувань підтверджують із заданою точністю та надійністю заявлені розробником (виробником) початкові ймовірнісні характеристики. З табл. 2 видно, що для випробувань зразків з умовно достовірними параметрами (коли задана початкова ймовірнісна характеристика $p = 0,99$) за невисокою точністю та надійністю одержання оцінки достатньо одного випробування, при якому має спостерігатися позитивний результат. Підвищення якості оцінки вимагатиме більшої кількості дослідів зразку.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Тут потрібно зауважити, що на практиці можлива певна об'єктивна обмеженість у кількості випробувань, про що зазначалося на початку статті. Тому авторами зроблена спроба оцінки характеристики надійності результатів випробування γ' за збереженою заданою точністю ϵ при вимушеному зменшенні кількості випробувань.

Для розрахунків кількість дослідів, які наведені в табл. 2 зменшували навпіл, на третину та на чверть. Результати розрахунків наведені в табл. 3–5.

Таблиця 3

Надійність оцінки γ' при зменшенні кількості повторень випробування на $n/2$

p	$\gamma \geq 0,8$				$\gamma \geq 0,9$				$\gamma \geq 0,95$				$\gamma \geq 0,99$			
	ϵ				ϵ				ϵ				ϵ			
	0,05	0,1	0,15	0,2	0,05	0,1	0,15	0,2	0,05	0,1	0,15	0,2	0,05	0,1	0,15	0,2
0,6	0,64	0,64	0,64	0,64	0,76	0,76	0,76	0,78	0,83	0,84	0,84	0,84	0,93	0,93	0,93	0,93
0,7	0,64	0,65	0,65	0,67	0,76	0,76	0,76	0,78	0,84	0,84	0,84	0,85	0,93	0,93	0,94	0,94
0,8	0,64	0,65	0,64	0,68	0,76	0,76	0,76	0,78	0,83	0,84	0,84	0,84	0,93	0,93	0,93	0,94
0,9	0,64	0,65	0,68	0,65	0,76	0,77	0,78	0,82	0,84	0,84	0,84	0,86	0,93	0,93	0,94	0,94
0,95	0,64	0,64	0,67	0,64	0,76	0,78	0,77	0,81	0,84	0,85	0,88	0,89	0,93	0,93	0,95	0,93
0,99	0,69	0,69	*	*	0,78	0,84	0,87	*	0,84	0,84	0,87	*	0,94	0,96	0,97	0,96

Таблиця 4

Надійність оцінки γ' при зменшенні кількості повторень випробування на $n/3$

p	$\gamma \geq 0,8$				$\gamma \geq 0,9$				$\gamma \geq 0,95$				$\gamma \geq 0,99$			
	ϵ				ϵ				ϵ				ϵ			
	0,05	0,1	0,15	0,2	0,05	0,1	0,15	0,2	0,05	0,1	0,15	0,2	0,05	0,1	0,15	0,2
0,6	0,71	0,71	0,71	0,72	0,82	0,82	0,83	0,84	0,89	0,89	0,89	0,90	0,97	0,97	0,97	0,97
0,7	0,71	0,71	0,72	0,71	0,82	0,83	0,84	0,83	0,89	0,89	0,89	0,90	0,97	0,97	0,97	0,97
0,8	0,71	0,71	0,71	0,74	0,82	0,83	0,84	0,84	0,89	0,89	0,90	0,90	0,97	0,97	0,97	0,97
0,9	0,71	0,71	0,74	0,75	0,82	0,83	0,84	0,86	0,89	0,90	0,90	0,90	0,96	0,96	0,97	0,96
0,95	0,72	0,74	0,77	*	0,83	0,83	0,83	0,89	0,89	0,90	0,91	0,93	0,97	0,97	0,97	0,98
0,99	0,74	*	*	*	0,84	0,84	*	*	0,90	0,92	*	*	0,97	0,98	*	*

Таблиця 5

Надійність оцінки γ' при зменшенні кількості повторень випробування на $n/4$

p	$\gamma \geq 0,8$				$\gamma \geq 0,9$				$\gamma \geq 0,95$				$\gamma \geq 0,99$			
	ϵ				ϵ				ϵ				ϵ			
	0,05	0,1	0,15	0,2	0,05	0,1	0,15	0,2	0,05	0,1	0,15	0,2	0,05	0,1	0,15	0,2
0,6	0,74	0,74	0,75	0,75	0,85	0,85	0,86	0,86	0,91	0,91	0,91	0,92	0,97	0,97	0,98	0,97
0,7	0,74	0,74	0,74	0,75	0,85	0,85	0,86	0,87	0,91	0,91	0,91	0,92	0,97	0,97	0,98	0,98
0,8	0,74	0,75	0,74	0,78	0,85	0,85	0,85	0,87	0,91	0,91	0,91	0,92	0,97	0,98	0,98	0,98
0,9	0,74	0,75	0,78	0,75	0,85	0,85	0,87	0,90	0,91	0,92	0,92	0,92	0,97	0,97	0,98	0,98
0,95	0,74	0,74	0,77	*	0,85	0,85	0,88	0,89	0,91	0,92	0,93	0,93	0,98	0,98	0,98	0,98
0,99	0,78	*	*	*	0,87	*	*	*	0,92	0,92	*	*	0,98	*	*	*

Примітка: для випадків, позначених знаком (*), немає можливості зменшення кількості дослідів на відповідну величину $n/2$, $n/3$ та $n/4$.

За результатами обчислень, наведених у табл. 3-5, можна спостерігати, що у разі зменшення кількості дослідів відбувається зниження надійності оцінки параметрів зразка.

Маючи число необхідних випробувань n для заданої початкової ймовірнісної характеристики p можна знайти теоретичне число успіхів k за відомою формулою [3]

$$np - q \leq k \leq np + q. \tag{12}$$

Значення очікуваного числа «успіхів» k для заданих p та прийнятих нами для розрахунків ϵ і γ наведені в табл. 6.

Очікуване число успіхів k

p	$\gamma \geq 0,8$				$\gamma \geq 0,9$				$\gamma \geq 0,95$				$\gamma \geq 0,99$			
	ε				ε				ε				ε			
	0,05	0,1	0,15	0,2	0,05	0,1	0,15	0,2	0,05	0,1	0,15	0,2	0,05	0,1	0,15	0,2
0,6	96	24	11	6	157	40	18	10	221	56	25	14	384	96	43	24
0,7	98	25	11	6	160	41	18	11	226	57	25	15	392	98	44	25
0,8	86	22	10	6	140	35	16	9	197	50	23	13	342	86	39	22
0,9	54	14	7	4	89	23	10	7	125	32	15	8	216	54	25	14
0,95	31	8	4	2	50	13	6	4	70	18	9	5	121	31	15	8
0,99	7	2	1	1	11	3	2	1	16	4	2	1	27	7	3	2

Одержані k дають змогу для заданої точності ε побудувати надійний інтервал для частоти W . Використавши $|W - p| \leq \varepsilon$, маємо $p - \varepsilon \leq W \leq p + \varepsilon$. Так як $W = \frac{k}{n}$, то

$$pn - \varepsilon n \leq k \leq pn + \varepsilon n. \quad (13)$$

Одержаний інтервал завжди «накриває» теоретичне число k і дає змогу оцінити число успіхів k^* при проведенні випробування певного зразка ОБТ із заданою початковою ймовірнісною характеристикою p . Графіки з надійними інтервалами для комбінації значень надійності, точності та початкової ймовірнісної характеристики наведені на рис. 7.

Тобто якщо при випробуванні ми одержимо число успіхів k^* , що лежить в інтервалі (13), то результат випробування можна оцінити як «позитивний», інакше вважатимемо, що задана замовником початкова ймовірнісна характеристика p не підтверджена.

Зауваження: якщо під час випробувань виконано менше повторень, ніж заплановано, і за числом «успішних» випадків k перевищено нижню межу надійного інтервалу (13), припиняти випробування однаково не можна, оскільки ми повинні одержати саме точкову оцінку наближеності частоти W до початкової ймовірнісної характеристики p .

Для підтвердження результатів нами були побудовані ряди розподілу випадкової величини x – кількості «успіхів» у серії з n випробувань, де відбулося підтвердження надійності γ початкової ймовірнісної характеристики при попаданні числа k^* у довірчий інтервал.

Якщо розглянути надійність, як найменшу ймовірність того, що «успіх» при випробуваннях потрапляє в інтервал (13), то для підтвердження заданої ймовірнісної характеристики достатньо, щоб «успіх» настав хоча б у одній серії n випробувань. Отже, цілком логічно відповісти на питання – скільки таких серій S потрібно, щоб бути впевненим у характеристиці p .

Нехай p – ймовірнісна характеристика, яку потрібно підтвердити при проведенні n випробувань. Яку кількість потрібно провести серій S з n випробувань, щоб з надійністю не меншою ніж γ «успіх» настав хоча б 1 раз. Якщо позначити, що A – подія настання успіху, то $P(A)$ – ймовірність настання такого успіху. Відомо [1-6], що $P(A) = 1 - q^S$, і за умовою $P(A) \geq \gamma$ буде справедливою нерівність $1 - q^S \geq \gamma$, звідки маємо $1 - (1 - p)^S \geq \gamma$; $1 - \gamma \geq (1 - p)^S$. Для знаходження S прологарифмуємо обидві частини нерівності: $\lg(1 - \gamma) \geq S \lg(1 - p)$. Оскільки $0 < 1 - p < 1$, то $\lg(1 - p) < 0$, тому

$$S \geq \frac{\lg(1 - \gamma)}{\lg(1 - p)}.$$

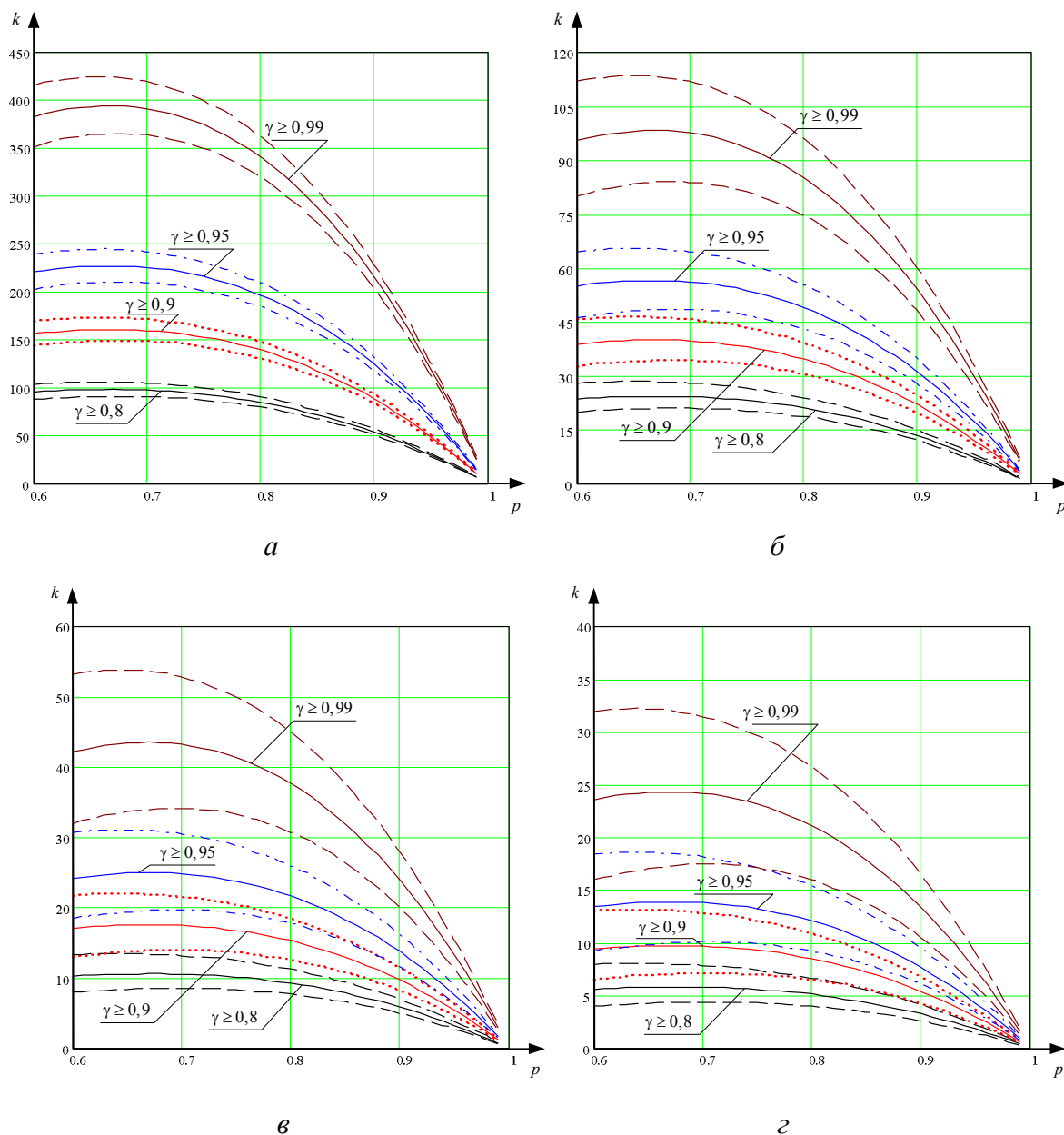


Рис. 7. Надійні інтервали для комбінації значень ϵ , γ і p :

$a - \epsilon = 0,05$; $б - \epsilon = 0,1$; $в - \epsilon = 0,15$; $г - \epsilon = 0,2$

Проведені чисельні розрахунки у табл. 7 показують нам мінімально необхідну кількість серій S , кожна з яких складається з n дослідів, які необхідно провести для підтвердження початкової ймовірнісної характеристики.

Таблиця 7

Число серій S для підтвердження початкової ймовірнісної характеристики p

p	$\gamma \geq 0,8$	$\gamma \geq 0,9$	$\gamma \geq 0,95$	$\gamma \geq 0,99$
0,6	2	3	4	6
0,7	2	2	3	4
0,8	1	2	2	3
0,9	1	1	2	2
0,95	1	1	1	2
0,99	1	1	1	1

Тут потрібно зауважити, що чим вище надійність і менше ймовірнісна характеристика p , тим більше серій потрібно проводити для підтвердження цієї характеристики. У випадку $\gamma = p$ «успіх» повинен наставати в кожній серії випробування.

Висновки відповідно до статті. Розглянуто математичний апарат одержання точкових оцінок параметрів випробувального зразку заданої точності та надійності. Визначені кількісні плани випробувань для одержання початкової ймовірнісної характеристики параметрів ОВТ та кількісні плани випробувань для точкового підтвердження заявленого параметру. Досліджено питання зниження надійності оцінок при вимушеному зменшенні кількості повторень дослідів. Одержані значення кількості серій дослідів для підтвердження заявлених параметрів зразку.

Застосування розглянутого математичного апарату визначення кількісних показників плану проведення випробувань для одержання точкових оцінок параметрів зразку заданої точності й надійності в системі планування та управління випробуваннями дозволить суттєво скоротити часові витрати на підготовку до випробування, а алгоритмізація та подальша автоматизація дозволить уникнути впливу людського чинника при підготовці програм та методик випробування.

Список використаних джерел

1. Гнеденко Б. В. Курс теорії ймовірностей. Київ: Рад. шк., 1949. 360 с.
2. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. Москва: Наука, 1969. 576 с.
3. Крамер Г. Математические методы статистики. Москва: Мир, 1975. 648 с.
4. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика. Москва: Высшая школа, 1977. 479 с.
5. Колмогоров А. Н. Основные понятия теории вероятностей. Москва: Наука, 1974. 120 с.
6. Вентцель Е. С., Овчаров Л. А. Теория вероятностей и ее инженерные приложения. Москва: Наука, 1988. 480 с.
7. Шефтель З. Г. Теория вероятностей: підручник. 2-ге вид., переробл. і допов. Київ: Вища шк., 1994. 192 с.
8. Хартман К., Лецкий Э., Шефер В. Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов. Москва: Мир, 1977. 541 с.
9. Адлер Ю. П., Маркова Е. В., Грановский Ю. В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. Москва: Наука, 1976. 279 с.
10. Тихомиров В. Б. Планирование и анализ эксперимента (при проведении исследований в легкой и текстильной промышленности). Москва: Легкая индустрия, 1974. 262 с.
11. Казачинский В. З., Левитский Г. Е. Математические методы решения военно-специальных задач. Киев: Изд-во ВА ВПВО СВ, 1980. 291 с.
12. Дмитрієв В. А., Сергієнко А. І., Тішков Ю. М. Методичний підхід до обґрунтування можливості зменшення експериментів в процесі проведення випробувань. *Збірник наукових праць «Труди академії»*. 2008. Вип. 7 (87). С. 63–67.
13. Кошева Л. А. Обеспечение единства испытаний. Концептуальные основы: монография. Киев: НАУ, 2009. 176 с.
14. Кошева Л. О. Концептуальні основи забезпечення єдності лабораторних випробувань: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: спец. 05.01.02 «Стандартизація, сертифікація та метрологічне забезпечення» / Національний університет «Львівська політехніка». Львів, 2010. 39 с.
15. Акимов О. О., Бурсала О. Л., Бояров В. Т., Жданюк М. М. Планування випробувань на надійність військової техніки. *Створення та модернізація озброєння і військової техніки в сучасних умовах: збірник тез доповідей XVIII науково-технічної конференції, 06-07 вересня 2018 р. ДНДІ ВС ОВТ. Чернігів: Видавець Брагинець О. В., 2018. С. 33–34.*
16. Васілевський О. М., Кучерук В. Ю., Володарський Є. Т. Основи теорії невизначеності вимірювань: підручник. Вінниця: ВНТУ, 2015. 230 с.
17. Шитікова О. С. Інформаційна технологія підтримки процесу випробувань газотурбінних установок наземного використання з урахуванням невизначеності: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.06 / Запорізький національний технічний університет. Запоріжжя, 2017. 195 с.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

18. Корнієнко І. В., Корнієнко С. П., Походенко О. М., Казначей С. М., Руденко О. В. Графічне представлення моделі функціонування випробувальної організації. *Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки*. Чернівці, 2019. Вип. 2. С. 91–98.

19. Корнієнко С. П., Корнієнко І. В., Павленко А. Г., Камак Д. О. Підхід до прогнозування часу проведення випробувань озброєння та військової техніки. *Новітні технології: збірник наукових праць Приватного вищого навчального закладу «Університет новітніх технологій»*. Київ, 2019. № 3 (10). С. 94–100.

20. ДСТУ 3004-95. Надійність техніки. Методи оцінки показників надійності за експериментальними даними. Київ, 1994. 32 с.

References

1. Hniedenko, B. V. (1949). *Kurs teorii ymovirnosti [Course in probability theory]*. Kyiv: Rad. shk. [in Ukrainian].
2. Venttsel, E. S. (1969). *Teoriia veroiatnosti [Probability theory]*. Moscow: Nauka [in Russia].
3. Kramer, G. (1975). *Matematicheskie metody statistiki [Mathematical statistics methods]*. Moscow: Mir [in Russia].
4. Gmurman, V. E. (1977). *Teoriia veroiatnosti i matematicheskaia statistika [Theory of probability and mathematical statistics]*. Moscow: Vysshaya shkola [in Russian].
5. Kolmogorov, A. N. (1974). *Osnovnye ponyatiia teorii veroiatnosti [Basic concepts of probability theory]*. Moscow: Nauka [in Russian].
6. Venttsel, E. S., Ovcharov, L. A. (1988). *Teoriia veroiatnosti i ee inzhenernye prilozheniia [Probability Theory and Its Engineering Applications]*. Moscow: Nauka [in Russian].
7. Sheftel, Z. H. (1994). *Teoriia imovirnosti [Probability theory]*. Kyiv: Vyshcha shk. [in Ukrainian].
8. Khartman, K., Letckii, E., & Shefer, V. (1977). *Planirovanie eksperimenta v issledovanii tekhnologicheskikh protsessov [Planning an experiment in the study of technological processes]*. Moscow: Mir [in Russian].
9. Adler, Iu. P., Markova, E. V., & Granovskii, Iu. V. (1976). *Planirovanie eksperimenta pri poiske optimalnykh uslovii [Planning an experiment to find optimal conditions]*. Moscow: Nauka [in Russian].
10. Tikhomirov, V.B. (1974). *Planirovanie i analiz eksperimenta (pri provedenii issledovanii v legkoi i tekstilnoi promyshlennosti) [Planning and analysis of experiments (in research in the light and textile industries)]*. Moscow: Legkaia industriia [in Russian].
11. Kazachinskii, V. Z., Levitskii, G. E. (1980). *Matematicheskie metody resheniia voenno-spetzialnykh zadach [Mathematical methods for solving military special problems]*. Kiev: Izd-vo VA VPVO SV [in Russian].
12. Dmytriiev, V. A., Serhiienko, A. I., & Tishkov, Yu. M. (2008). Metodichnyi pidkhid do obruntuvannia mozhlivosti zmeshennia eksperymentiv v protsesi provedennia vyprobuvan [Methodical approach to substantiate the possibility of reducing experiments in the process of testing]. Kyiv: NAO Ukrainy [in Ukrainian].
13. Koshevaia, L. A. (2009). *Obespechenie edinstva ispytani. Kontseptualnye osnovy [Ensuring the unity of testing. Conceptual bases]*. Kiev: NAU [in Russian].
14. Kosheva, L. O. (2010). *Kontseptualni osnovy zabezpechennia yednosti laboratornykh vyprobuvan [Conceptual basics of ensuring the unity of laboratory tests]*. (Doctor's thesis). Lviv Polytechnic National University, Lviv [in Ukrainian].
15. Akymov, O. O., Bursala, O. L., Boiarov, V. T., & Zhdaniuk, M. M. (2018). Planuvannia vyprobuvan na nadiinist viiskovoi tekhniki [Planning reliability tests of military equipment]. *Stvorennia ta modernizatsiia ozbroiennia i viiskovoi tekhniki v suchasnykh umovakh: zbirnyk tez dopovidei XVIII naukovo-tekhnichnoi konferentsii [Creation and modernization of weapons and military equipment in modern conditions: a collection of abstracts of the XVIII Scientific and Technical Conference]* (Chernihiv, September 06-07, 2018) (pp. 33-34). Chernihiv, DNDI VS OVT [in Ukrainian].
16. Vasilevskiy, O. M., Kucheruk, V. Yu., & Volodarskiy, Ye. T. (2015). *Osnovy teorii nevyznachenosti vymiriuvan [Basic theory of measurement uncertainty]*. Vinnytsia: VNTU [in Ukrainian].
17. Shytikova, O. S. (2017). *Informatsiina tekhnolohiia pidtrymky protsesu vyprobuvan hazoturbinnnykh ustanovok nazemnoho vykorystannia z urakhuvanniam nevyznachenosti [Information technology for supporting the process of testing ground-based gas turbine installations with uncertainty]*. Zaporizhzhia: ZNTU [in Ukrainian].

18. Korniienko, I. V., Korniienko, S. P., Pokhodenko, O. M., Kaznachei, S. M., & Rudenko, O. V. (2019). *Hrafichne predstavleniia modeli funktsionuvannia vyprobuvalnoi orhanizatsii [Graphical representation of the model of the testing organization functioning]*. Chernihiv: DNDI VS OVT [in Ukrainian].

19. Korniienko, S. P., Korniienko, I. V., Pavlenko, A. H., & Kamak, D. O. (2019). *Pidkhid do prohnozuvannia chasu provedennia vyprobuvan ozbroiennia ta viiskovoi tekhniki [Approach to predicting the timing of weapons testing and military equipment]*. Kyiv: PVNZ «Universytet novitnikh tekhnolohii» [in Ukrainian].

20. Nadiinist tekhniky. Metody otsinky pokaznykiv nadiinosti za eksperymentalnymy danymy [Reliability of technology. Methods for estimating the reliability of the experimental data]. DSTU 3004-95. Kyiv (1995).

UDC 519.252

Svitlana Korniienko, Ihor Korniienko,
Volodymyr Dmytriiev, Anatolii Pavlenko, Dmytro Kamak

FORMATION OF TESTS QUANTITATIVE CHARACTERISTICS TO OBTAIN POINT QUALITY ASSESSMENTS

Urgency of the research. One of the most important and time-consuming tasks in the preparation of test methods is to calculate the quantitative characteristics of the tests, the automation of which during mass testing becomes an urgent task.

Target setting. The effectiveness of the testing organization is determined by the time and quality characteristics of the tests, where the quality of the test means the conformity of the obtained estimates to the parameters of the test samples. The reliability of the assessments is achieved by a steady and correct test in accordance with the methodology developed, which shall include, inter alia, the quantitative characteristics of the test of a particular sample.

Actual scientific researches and issues analysis. Today, there are many fundamental works involved in planning experiments, processing their results, and obtaining estimates of a given quality. Recently, many scientific works have been devoted to the automation of the processes of preparation, conduct and processing of test results.

Uninvestigated parts of general matters defining. The algorithmization and automation of planning processes in a test organization aims to significantly simplify, accelerate and eliminate errors in the development of test methods for weapons and military equipment.

The research objective. To simulate the processes of functioning of the test organization and to find the optimal modes of structure and parameters of the production process, it is proposed to use an analytical model of queuing systems theory. One of the structural elements of the model should be a test planning module, for which a mathematical apparatus for determining the quantitative characteristics of a test plan to obtain point estimates of the sample parameters of a given accuracy and reliability, as well as the loss of reliability of a point estimate due to the number of trials, must be developed and prepared for algorithmization.

The statement of basic materials. The structural and functional scheme of the module of calculations of quantitative characteristics of tests is formed. The theoretical question of obtaining point estimates of the parameters of the test sample of the given accuracy and reliability is considered. Quantitative test characteristics for standardized accuracy and reliability values are calculated. The question of decrease of reliability of estimates at forced reduction of number of experiments is considered. The quantitative characteristics of the test series are determined to ensure the reliability of the estimates.

Conclusions. Application of the considered mathematical apparatus to determine the quantitative indicators of the test plan to obtain point estimates of the parameters of the sample precision and reliability in the system of planning and test management will significantly reduce the time spent on preparation for the test, and algorithmization and further automation of testing will allow.

Keywords: tests; automation; rating; accuracy; reliability.

Table: 7. Fig.: 7. References: 20.

Корнієнко Світлана Петрівна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри промислового та цивільного будівництва, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Белова, 4, м. Чернігів, 14000, Україна).

Korniienko Svitlana – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Industrial and Civil Engineering, Chernihiv National University of Technology (4 Bielova Str., 14000 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: cornel@ukr.net

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9162-1229>

Корнієнко Ігор Валентинович – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри геодезії, картографії та землеустрою, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Белова, 4, м. Чернігів, 14000, Україна).

Korniienko Ihor – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Head of Department of Geodesy, Cartography and Land Planning, Chernihiv National University of Technology (4 Bielova Str., 14000 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: cornel@ukr.net

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9105-0780>

Дмитрієв Володимир Анатолійович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки, заступник начальника інституту з наукової роботи, Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки (вул. Стрілецька, 1, м. Чернігів, 14000, Україна).

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Dmytriiev Volodymyr – PhD in Technical Sciences, Senior Researcher, The Laureate of State Prize of Ukraine in sphere of science and technique, State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment Testing and Certification (1 Striletska Str., 14000 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: vadmitriev@ukr.net

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0792-6397>

Павленко Анатолій Григорович – кандидат технічних наук, начальник науково-організаційного відділу, Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки (вул. Стрілецька, 1, м. Чернігів, 14000, Україна).

Pavlenko Anatolii – PhD in Technical Sciences, Chief of the Scientific Organizational Section, State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment Testing and Certification (1 Striletska Str., 14000 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: agpav@ukr.net

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6341-8381>

Камак Дмитро Олександрович – начальник науково-дослідного відділу, Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки (вул. Стрілецька, 1, м. Чернігів, 14000, Україна).

Kamak Dmytro – Chief of the Scientific-Research Department, State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment Testing and Certification (1 Striletska Str., 14000 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: dkam@meta.ua

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0348-5456>