

**ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ**  
**НАВЧАЛЬНО–НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

Кафедра інженерії програмного забезпечення

**Пояснювальна записка**

До магістерської роботи

На ступінь вищої освіти магістр

на тему: «**МЕТОДИКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ ОЦІНКИ ЯКОСТІ  
ПЛОТУВАННЯ ЛІТАКА**»

Виконав: студент 7 курсу, групи

ППЗМ–71 спеціальності

121 Інженерія програмного забезпечення

(шифр і назва спеціальності)

Горський О.М.

(прізвище та ініціали)

Керівник Жебка В.В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент \_\_\_\_\_

(прізвище та ініціали)

Київ–2021

# ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

## НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра інженерії програмного забезпечення \_\_\_\_\_

Ступінь вищої освіти - «Магістр» \_\_\_\_\_

Спеціальність-121 «Інженерія програмного забезпечення» \_\_\_\_\_

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри

Інженерії програмного забезпечення

**О.В. Негоденко**

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ року

### ЗАВДАННЯ

#### НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

**Горському Олексію Миколайовичу**

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Методика автоматизованої оцінки якості пілотування літака»

Керівник роботи: Жебка Вікторія Вікторівна, кандидат технічних наук, доцент  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом вищого навчального закладу від—03.03.2021 року №23.

2. Строк подання студентом роботи \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до роботи:

3.1 Вимоги до кваліфікаційної роботи магістра з актуальних завдань спеціальності;

3.2 Нормативні матеріали (стандарти, ДСТУ);

3.3 Технічні вимоги;

3.4 Науково-технічна література з питань, пов'язаних з темою роботи.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

4.1 Порівняльний аналіз результатів, отриманих іншими авторами;

4.2 Методика дослідження;

4.3 Результати дослідження;

4.4 Висновки

5. Перелік графічного матеріалу.

6. Дата видачі завдання 19.04.21

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Підбір науково-технічної літератури	19.04.21	
2	Дослідження стану питання щодо оцінювання якості пілотування літака льотчиком	21.04.21	
3	Аналіз методів оцінювання якості пілотування літака льотчиком	28.04.21	
4	Розробка методики оцінювання якості пілотування літака льотчиком	02.05.21	
5	Вступ, висновки, реферат	17.05.21	
6	Розробка обов'язкових демонстраційних матеріалів	27.05.21	
7	Попередній захист роботи	01.06.21	

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис) (прізвищетаініціали)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
(підпис) (прізвищетаініціали)



## РЕФЕРАТ

Текстова частина магістерської роботи: 70 с., 7 табл., 16 рис., 1 дод., 60 джерел.

Техніка пілотування, автоматизована оцінка, параметри польоту, кореляційний аналіз, нормальний закон розподілу, засоби об'єктивного контролю.

*Об'єкт дослідження* – пілотування літака льотчиком.

*Предмет дослідження* – засоби оцінки якості техніки пілотування літака льотчиком.

*Мета роботи* – підвищення об'єктивності оцінки техніки пілотування льотчика шляхом розробки науково-обґрунтованого критерію, методики і алгоритму автоматизованої оцінки якості пілотування літака льотчиком.

Методи дослідження — методи теорії інформації, методи математичної статистики, методи оптимального управління.

Проведено аналіз підходів до оцінювання якості пілотування літака. Визначено параметри польоту, найбільш чутливі до рівня професійної підготовки льотчика, та точки на траєкторіях фігури пілотажу, які найбільш повно характеризують досконалість техніки пілотування літака льотчиком.

Обрано та обґрунтовано критерій якості пілотування літака льотчиком та алгоритм автоматизованої кількісної оцінки якості пілотування літака льотчиком.

Отримані результати дозволяють підвищити об'єктивність оцінки за рахунок більш оперативного, детального і систематичного контролю за діяльністю льотчика в польоті; розробити алгоритми і програми автоматизованої оцінки рівня натренованості льотчика в техніці пілотування.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ПІЛОТУВАННЯ ЛІТАКА ЛЬОТЧИКОМ.....	11
1.1. Аналіз існуючих методик оцінювання якості пілотування літака льотчиком.....	11
1.2. Аналіз існуючих критеріїв оцінки якості пілотування літака льотчиком....	13
1.3. Постановка завдання наукового дослідження.....	16
РОЗДІЛ 2. ВИБІР КРИТЕРІЮ ТА РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ПІЛОТУВАННЯ ЛІТАКА ЛЬОТЧИКОМ.....	19
2.1. Вибір та обґрунтування критерію оцінювання якості пілотування літака льотчиком.....	19
2.2. Методика автоматизації формування об'єктивних кількісних оцінок якості пілотування літака льотчиком.....	22
РОЗДІЛ 3. АЛГОРИТМ ТА ПРОГРАМА АВТОМАТИЗОВАНОЇ КІЛЬКІСНОЇ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ПІЛОТУВАННЯ ЛІТАКА ЛЬОТЧИКОМ.....	27
3.1. Рішення задачі автоматизованого кількісного оцінювання якості виконання льотчиком петлі Нестерова.....	27
3.2. Опис програми формування шкали оцінок якості виконання льотчиком петлі Нестерова.....	53
3.2.1. Загальні відомості про програму.....	53
3.2.2. Функціональне призначення програми.....	53
3.2.3. Опис логічної структури програми.....	54
3.2.4. Вхідні дані.....	57
3.2.5. Вихідні дані.....	57
ВИСНОВКИ.....	59
ЛІТЕРАТУРА.....	62
ДОДАТКИ.....	68

## ВСТУП

В теперішній час проблема підвищення рівня безпеки польотів набула найбільшої гостроти. Це викликано багатьма чинниками, як об'єктивними, так і суб'єктивними. Головуюче місце серед цих чинників посідає особистий фактор, тому що більш ніж половина авіаційних пригод відбувається з вини особистого складу. Льотний склад у переліку винуватців авіаційних подій та інцидентів до них займає першу позицію. Важлива роль у вирішенні цієї проблеми належить організації всеосяжного контролю за функціонуванням системи "льотчик - літальний апарат". Особливої уваги потребує контроль за діяльністю льотного складу в польоті. Своєчасне виявлення помилок льотчика з негайним вивченням причин їх появи і розробкою заходів по усуненню і попередженню цих помилок дозволить зменшити кількість авіаційних подій. Певні заходи в цьому напрямку вживаються, але дійсної оперативної кількісної об'єктивної оцінки діяльності льотчика по пілотуванню літака не існує. Це пов'язано з відсутністю чітко визначених та зважених критеріїв оцінки, методики їх застосування, яка б могла дати підстави для формування процедури автоматизованого оцінювання кожного польоту.

Статистика показує [1, 20, 33, 56], що в авіації через помилки особового складу відбувається близько 60% авіаційних подій та їх передумов до них, з них на помилки льотного складу припадає 64%, більше половини яких відбувається через помилки льотчика в техніці пілотування. Результати розслідування подібних авіаційних подій та їх передумов до них показують, що деякі помилки допускалися і раніше, але через відсутність систематичного, повного, детального контролю процесу пілотування вони не були своєчасно виявлені і їхні причини не були усунені.

Аналіз статистики авіаційних подій та їх передумов до них по етапах польоту показує [1, 33], що кожна п'ята передумова до авіаційного події припадає на виконання пілотажу в зоні. При цьому їх основною причиною є помилки льотного складу з-за недостатньої натренованості. Пояснюється це тим, що в зоні льотчик

стикається з винятково високим динамізмом зміни параметрів польоту літака. За 15 ... 20 хвилин польоту льотчик виконує 15...30 фігур пілотажу. При цьому перепад висот становить 1000...3000 м, кутові швидкості обертання літака - до 60, діапазон зміни швидкості польоту 300...900 км/ч. Крім того, при виконанні пілотажу літак постійно наближається до експлуатаційних обмежень параметрів польоту - від звалювання до трансзвукового польоту, що позначається на стійкості і керованості. Все це обумовлює особливі вимоги щодо дотримання заходів безпеки і викликає підвищену емоційну напруженість льотчика. Тому на етапі виконання пілотажу в зоні необхідний більш ретельний контроль техніки пілотування.

Помилки льотчика в техніці пілотування реалізуються у відхиленні тих чи інших параметрів, які, як правило, можуть бути виявлені при аналізі польотної інформації, зафіксованої засобами об'єктивного контролю. Однак існуючі критерії та методики, зокрема, методика оцінки якості виконання польотного завдання, не дають можливості досить об'єктивно, своєчасно і в повному обсязі вирішити цю задачу.

Для підвищення рівня безпеки польоту, що визначається діями льотного складу, підвищення об'єктивності в оцінці техніки пілотування необхідний систематичний і всебічний контроль процесу пілотування. В даний час найбільш перспективним шляхом вирішення цього завдання, зважаючи на наявність у складі комплексів запису польотної інформації і її обробки цифрових обчислювальних машин, є автоматизація процесу оцінки [13].

На сьогоднішній день в Україні склалася складна економічна ситуація, авіація відчуває нестачу матеріальних засобів, зменшився наліт льотчиків за видами підготовки. У цих умовах необхідно по-новому підходити до складання програм підготовки і з максимальною ефективністю використовувати кожен політ. Для цього потрібна оперативна, об'єктивна оцінка діяльності льотчика по керуванню літаком негайно по закінченню польоту. Критичний аналіз існуючих методів і критеріїв оцінки рівня натренованості льотчика в техніці пілотування показав, що наявні в даний час підходи не задовольняють вимогам, що пред'являються до автоматизованої оцінки - відсутні науково обґрунтовані критерії



і методики оцінки. У зв'язку з цим актуальною є наукова задача по розробці критеріїв, алгоритмів і програм автоматизованої оцінки рівня натренованості льотчика в техніці пілотування.

Підвищення об'єктивності оцінки рівня натренованості льотчика в техніці пілотування за допомогою розробки науково-обґрунтованих критеріїв, методики і алгоритму автоматизованої оцінки рівня натренованості льотчика в техніці пілотування, що забезпечують, як наслідок, підвищення рівня безпеки польотів, що визначається діями льотного складу [2, 3, 10, 22].

Поставлена мета досягається вирішенням наступних основних завдань:

- аналізу існуючих методик оцінки якості пілотування літака льотчиком;
- визначення параметрів польоту, що визначають якість пілотування літака льотчиком;
- визначення критеріїв оцінки якості пілотування літака льотчиком;
- розробки методики використання критерію для оцінки якості пілотування літака льотчиком;
- визначення і розробка алгоритму оцінки якості пілотування літака льотчиком.

*Об'єкт дослідження* – пілотування літака льотчиком.

*Предмет дослідження* – засоби оцінки якості техніки пілотування літака льотчиком.

Методи дослідження — методи теорії інформації, методи математичної статистики, методи оптимального управління.

Наукова новизна роботи

- запропоновано принцип вибору характерних точок на траєкторії фігури пілотажу для оцінювання;
- розроблено критерій оцінки точності витримування параметрів польоту з використанням методів кореляційного аналізу;
- розроблено методику автоматизації оцінки якості пілотування літака

ЛЬОТЧИКОМ.

Практичне значення одержаних результатів

Використання основних наукових результатів дозволяє:

- підвищити об'єктивність оцінки за рахунок більш оперативного, детального і систематичного контролю за діяльністю льотчика в польоті;
- розробити алгоритми і програми автоматизованої оцінки рівня натренованості льотчика в техніці пілотування;
- на підставі раціонального планування з урахуванням індивідуальних особливостей льотчика скоротити час і витрати на навчання, перенавчання та підтримання льотних навичок льотного складу та підвищити безпеку польотів.

Отримані результати можуть бути використані в організаціях, які проводять навчання та підготовку льотного складу, організаціях, що займаються розслідуванням авіаційних подій при розробці критеріїв, алгоритмів і програм оцінки якості пілотування, контролю рівня натренованості і дотримання умов безпеки польотів.

# **РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ПІЛОТУВАННЯ ЛІТАКА ЛЬОТЧИКОМ**

## **1.1. Аналіз існуючих методик оцінювання якості пілотування літака льотчиком.**

В зв'язку з інтенсивним використанням в авіації бортових і наземних систем контролю, що здійснюють збір, зберігання та обробку польотної інформації, актуальною є задача автоматизації оцінювання якості пілотування літака льотчиком з метою отримання об'єктивних даних для визначення рівня навченості льотного складу, що розпочинає льотну роботу та не має достатнього досвіду, повноти засвоєння ними льотної навчальної, рівня натренованості.

Сучасні засоби об'єктивного контролю (ЗОК) дозволяють вирішити цю задачу, але отримання результату вимагає високої професійної підготовки фахівця-оператора та значних витрат часу щодо обробки польотної інформації, що записана бортовими ЗОК та, відповідно не дозволяє льотчику-інструктору оперативно кількісно оцінити якість виконання льотчиками, що навчаються, окремих маневрів та фігур пілотажу відразу ж після завершення польоту [1, 22, 27].

В теперішній час об'єктивність оцінювання якості пілотування літака льотчиком в основному залежить від кваліфікації та досвіду інструкторів, які, ґрунтуючись на власній компетентній, але тим не менш, суб'єктивній думці визначають якість виконання льотчиками, що навчаються, окремих елементів польоту [24, 51].

Крім того, ускладнюється контролювання та оцінювання виконання льотчиками тренувальних польотів, що виконуються без інструктора на борту. Це призводить до відсутності наскрізного контролю якості виконання льотчиком, що навчається, програми льотного навчання в цілому, та може призвести до зниження рівня безпеки польотів та підвищенню ймовірності скоєння авіаційних подій, що пов'язані з людським фактором.

В зв'язку з цим ведуться інтенсивні дослідження щодо розробки та опрацювання методик, алгоритмів, критеріїв і засобів їх реалізації, які дозволяють

за інформацією ЗОК про дії членів екіпажу кількісно, об'єктивно і оперативно оцінювати якість пілотування. Оцінка має здійснюватись на основі аналізу конкретних кількісних значень фізичних параметрів та відображати ступінь професійної підготовки льотчика [2, 36, 41].

Підвищення ступеню об'єктивності оцінки якості пілотування дозволяє обґрунтовано проводити оптимізацію програм льотного навчання, скорочувати чи збільшувати кількість учбово-тренувальних польотів, що гарантують рівень підготовки, який вимагається від льотчиків-початківців.

Використання в якості оцінюючої ланки електронних обчислювальних машин дозволяє звести до мінімуму суб'єктивізм оцінювання, тому що однократно закладена при складанні алгоритму та при визначенні параметрів оцінювання доля суб'єктивізму не буде змінюватись по мірі оцінювання різних реалізацій [3].

Відоме певне різноманіття у підходах до вирішення задачі автоматизованої оцінки якості пілотування. Деякі автори, наприклад Устінов В.В., пропонують критерій автоматизованої оцінки ефективності пілотування літака льотчиком, суть якого полягає в оцінюванні кожного параметру, що входять у критерій, за трьохбальною шкалою на всьому часовому інтервалі оцінювання з подальшим усередненням оцінки параметру за часом та отриманої загальної оцінки як середньої оцінки за усіма параметрами [22]. Аналогічний критерій запропоновано в роботі Молоканова Г.О., з тією лише різницею, що оцінювання ведеться за одним параметром [29]. Прокоф'єв А.Н., Карапетян Г.С. та інші автори в своїй роботі [36] також пропонують оцінювати якість пілотування за фізичними значеннями кожного параметру, але з виставленням загальної оцінки за етап, як мінімальної часткової оцінки по параметрам на цьому етапі польоту.

Загальним недоліком перерахованих методик є необхідність зберігання великого обсягу даних про параметри на всьому часовому інтервалі оцінювання і велику кількість обчислювальних операцій з оцінювання параметрів, що може призвести до надмірного завантаження пам'яті бортових або наземних систем обробки польотних даних. Тому доцільно використовувати єдиний узагальнений критерій якості пілотування літака льотчиком за сукупністю параметрів, що

реєструються.

## **1.2. Аналіз існуючих критеріїв оцінки якості пілотування літака льотчиком.**

Аналіз діючих методик оцінки якості техніки пілотування показує, що вони не забезпечують повною мірою всебічного, систематичного і детального аналізу, а отже, об'єктивності в оцінці діяльності льотчика при відпрацюванні техніки пілотування. Найчастіше недостатньо підготовлені льотчики допускаються до виконання польотів, наслідком чого є передумови до авіаційних пригод і власне авіаційні події через помилкових дій льотного складу в техніці пілотування [3, 36]. Це ще раз підтверджує необхідність детального аналізу виконання кожного польоту для своєчасного виявлення допущених льотчиком помилок. Рішення даної задачі можливе шляхом автоматизованої оцінки. Тому актуальною є задача визначення критеріїв, алгоритму та методики автоматизованої оцінки рівня якості техніки пілотування льотчика.

Необхідно відзначити, що в даний час здійснюється оцінка якості техніки пілотування - поняття більш загального, що включає в себе поняття підготовленості, навченості і якості техніки пілотування одночасно. Такий підхід дозволяє отримати загальне уявлення про якість виконання польотного завдання, але не дає можливості скласти об'єктивну думку про ступінь досконалості навичок льотчика з пілотування літака.

У зв'язку з цим останнім часом ведеться інтенсивна робота по розробці критеріїв, алгоритмів автоматизованої оцінки рівня якості техніки пілотування. До них висуваються певні вимоги [6, 26]:

- наявність чіткого фізичного змісту;
- достатня чутливість до відображеної стороні процесу;
- наявність можливості реєстрації бортовими засобами об'єктивного контролю параметрів, використовуваних в як вихідні;
- мінімальне число параметрів, використовуваних для оцінки.

У діючих методиках [22, 23, 32] за критерій якості пілотування приймається точність витримування заданих параметрів руху літака в контрольних точках траєкторії польоту, визначених у нормативних документах [24]. Однак детальність аналізу можлива при контролі точності витримування параметрів на всій траєкторії з урахуванням керуючих рухів льотчика [32].

Звичайно, льотчика, що допускає помилки у відхиленні органів керування, можна вважати непідготовленим. Однак будь-який льотчик може допустити в польоті помилку. Тому необхідно розкрити причину допущеної помилки. Для цього треба розглянути саме поняття "підготовленість".

Готовність льотчика до здійснення конкретного виду льотної підготовки оцінюється фактичним рівнем його льотної підготовки, який залежить від стану навичок і умінь, сформованих в процесі льотної роботи [25, 33]. Наявність же у льотчика сформованих навичок і умінь цілеспрямованого сприйняття, відбору та переробки інформації в польоті, координованих і своєчасних дій по керуванню літаком і його системами, оперативного мислення, пов'язаного з оцінкою обстановки, прийняттям рішень в польоті і коригуванням їх в ході виконання завдання називається натренованістю [3, 28].

Таким чином, поняття якості техніки пілотування виявляється тісно пов'язаним з психофізіологічними процесами, що відбуваються в організмі льотчика. У міру вдосконалення досвіду відбувається зниження емоційної напруженості, викликаній підвищеною концентрацією уваги при сприйнятті польотної інформації або виконанні керуючої діяльності. Таким чином, однією з найбільш істотних особливостей якості техніки пілотування є зв'язок динаміки формування досвіду з управлінням літаком з динамікою зміни емоційної напруженості, викликаній керуючою діяльністю льотчика [25, 33].

Розглянемо деякі методи і критерії об'єктивної оцінки рівня якості техніки пілотування льотного складу, засновані на використанні інструментальної інформації.

Виходячи з психологічної структури якості техніки пілотування, пропонується використовувати показники динаміки зміни кількісної оцінки

координації роботи різних систем організму оператора, а також координацію всередині окремих систем, що дозволить своєчасно визначити настання моменту, коли оператор найкращим образом справляється з покладеними на нього завданнями [58]. Критерієм оцінки якості техніки пілотування виступає величина повної взаємної інформації, що міститься в будь-якій системі про стан однієї або декількох інших систем організму оператора [25].

$$J_{A \leftrightarrow B} = H(A) - H(A/B), \quad (1.1)$$

де  $H(A)$  – ентропія системи А;

$H(A/B)$  - повна умовна ентропія системи А щодо В.

Недолік даного підходу полягає в необхідності установки додаткової апаратури на літак, кріплення датчиків до льотчика, що може викликати небажані емоції. Даний метод не враховує також показники якості пілотування, які накладають істотний відбиток на стан систем організму оператора.

В роботі [10] пропонується оцінювати якість пілотування в поздовжньому і бічному русі, використовуючи в якості критеріїв точність витримування параметрів керованого процесу. Узагальнений критерій оцінки якості виконання польоту тривалістю Т:

$$I_T = 0,5 \left( \frac{1}{T} \sum_{\tau=1}^T \sum_{i=1}^n \beta_{i\tau} W_{i\tau} + \frac{1}{T} \sum_{\tau=1}^T \sum_{j=1}^n \nu_{j\tau} F_{j\tau} \right), \quad (1.2)$$

де  $W_{i\tau}, F_{j\tau}$  - відповідно часткові критерії повздовжнього та бічного руху на  $n$  етапах польоту;

$\beta_{i\tau}, \nu_{j\tau}$  - вагові коефіцієнти етапів польоту.

В якості часткових критеріїв приймаються вирази виду:

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) dt}, \quad (1.3)$$

де  $x$  - поточне відхилення оцінюваного параметра від заданого значення.

В цьому випадку зазначені критерії використовувалися для оцінки суто стаціонарних процесів, таких як горизонтальний політ і перед посадкою зниження. Це не дає змоги оцінювати етапи польоту, на яких здійснюється значне зміння параметрів польоту.

Дослідження показують [26], що необхідний системний аналіз керуючої діяльності льотчика, потрібно узагальнення "технічної" і "ергатичної" оцінки натренованості. Так, в роботі [41] автор наводить узагальнений критерій якості пілотування літака:

$$J = \int_0^T \sum_{i=1}^n \alpha_i f_i[x_i(t)] dt, \quad (1.4)$$

де  $x_i(t)$  - вектор стану системи;

$T$  - відрізок часу, в межах якого виконується оцінка;

"Слабким" місцем даного критерію є те, що при оцінці не враховуються показники, пов'язані з параметрами управління.

До того ж, спроби оцінювати фізіологічні показники льотчика, як міру «ціни», яка потрібна для досягнення заданого рівня якості пілотування, призводить до необхідності встановлення додаткового обладнання, яке потребує кваліфікованого обслуговування [52, 57].

Таким чином, проведений аналіз критеріїв і методів оцінки якості пілотування показує, що існують різні підходи до їх визначення. Число критеріїв порівняно велике, проте кожен окремо взятий критерій в цілому не задовольняє вимогам, що пред'являються до автоматизованої оцінки рівня якості техніки пілотування льотчика. Крім того, потрібно визначити параметри оцінювання, які б були чутливими саме до якості техніки пілотування.

### **1.3. Постановка завдання наукового дослідження**

Для підвищення рівня безпеки польотів, що визначається діями льотного складу, підвищення об'єктивності в оцінці техніки пілотування літака льотчиком необхідний систематичний контроль за його діяльністю в польоті. У цьому



випадку можливо своєчасне виявлення помилок льотчика з подальшим вивченням причин їх появи і розробкою заходів щодо усунення та запобігання цих помилок. Тому необхідна об'єктивна автоматизована оцінка діяльності льотчика по керуванню літаком.

Аналізуючи існуючі методи і критерії оцінки техніки пілотування, слід зазначити, що вони не дозволяють в повній мірі об'єктивно оцінювати дії льотчика і аналізувати причини його помилкових дій. У той же час розглянуті методи і критерії мають ряд переваг, якими повинні володіти критерії, що розробляються.

У зв'язку з цим найбільш підходящим виявляється метод оцінки за критерієм, який представляє собою лінійну функцію від часткових показників якості. Таким чином, є можливість реалізувати системний підхід до оцінки, тим більше, що оцінка за таким критерієм дозволяє отримати як загальну оцінку, так і систему часткових оцінок.

Завдання визначення методики оцінки якості пілотування літака льотчиком передбачає вирішення трьох часткових завдань:

- визначення параметрів польоту як часткових показників оцінки якості пілотування літака льотчиком;
- визначення характерних точок на траєкторії фігури пілотажу, в яких потрібно проводити оцінку;
- формування алгоритму та програми оцінки якості пілотування літака льотчиком.

При визначенні параметрів польоту як часткових показників оцінки якості пілотування літака льотчиком значущі результати дає статистична оцінка параметрів польоту. Дослідження статистичними методами параметрів польоту і управління дозволить виявити найбільш інформативні параметри для включення їх в критерій оцінки якості пілотування літака льотчиком. Для цього необхідно встановити структуру зв'язків параметрів польоту, тобто визначити ступінь впливу відхилення значення одного параметра на зміну значення інших параметрів.

Оцінка структури зв'язків і кількісних співвідношень параметрів пілотування дозволить об'єктивно визначати критерій, пов'язаний з параметрами польоту і

управління, визначати вплив часткових показників на критерій.

Таким чином, для критерію оцінки якості пілотування літака льотчиком необхідно розробити методику дослідження інформативності параметрів польоту про якість пілотування по інформації бортових засобів об'єктивного контролю статистичними методами.

Сформований критерій оцінки якості пілотування літака льотчиком створить передумови для розробки методики оцінки з використанням цього критерію. При вирішенні цього завдання необхідно визначити еталонні значення обраних для оцінки параметрів, визначити допуски відхилень значень параметрів на відповідні оцінки і визначити спосіб формування часткових і загальних оцінок.

Розроблена методика оцінки дозволить скласти алгоритм і розробити робочу програму для автоматизованої оцінки якості пілотування літака льотчиком.

## РОЗДІЛ 2. ВИБІР КРИТЕРІЮ ТА РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ПІЛОТУВАННЯ ЛІТАКА ЛЬОТЧИКОМ

### 2.1. Вибір та обґрунтування критерію оцінювання якості пілотування літака льотчиком.

Об'єктивні кількісні оцінки якості пілотування літака льотчиком повинні ґрунтуватися на порівнянні конкретних кількісних значень параметрів, які характеризують виконання заданого маневру або фігури пілотажу з їх еталонними значеннями, в якості яких можна прийняти:

а) математичні сподівання та середньоквадратичні відхилення значень параметрів, які входять до критерію оцінювання [22, 46, 48];

б) значення параметрів, що розраховані за математичними моделями та програмам розрахунку параметрів оптимальних просторово-часових траєкторій виконання маневрів або фігур пілотажу [42, 43].

В даній роботі використано статистичний метод кількісного оцінювання якості пілотування. За еталонні значення параметрів приймаються їх математичні сподівання і дисперсії, які розраховані при аналізі достатнього числа реалізацій даного маневру або фігури пілотажу групою льотчиків відомого рівня льотної підготовки.

В більшості випадків параметри, які характеризують виконання заданого маневру або фігури пілотажу при достатньо великому числі його реалізацій, підпорядковуються нормальному закону розподілу [30, 44], щільність ймовірності якого в  $n$ -мірному випадку визначаються виразом

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) = (2\pi)^{-\frac{n}{2}} |K^{-1}| \exp \left\{ -\frac{1}{2} X_0^T K^{-1} X_0 \right\}, \quad (2.1)$$

де  $K$  – кореляційна матриця;

$X_0 = \bar{X} - X$ ;

$X = |x_1, x_2, \dots, x_n|^T$  - вектор поточних значень параметрів;

$\bar{X} = |\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n|^T$  - вектор математичних сподівань значень параметрів.

Тоді, якщо за еталонні значення випадкових параметрів  $x_1, x_2, \dots, x_n$

прийняти їх математичні сподівання, то відхилення від цих еталонних значень може бути визначено, як відхилення від середнього значення з заданою довірчою ймовірністю

$$P_{\delta} = P(\bar{X} - t\Sigma < X < \bar{X} + t\Sigma), \quad (2.2)$$

де  $t$  – величина відносного відхилення значень параметрів  $X$  від математичних сподівань  $\bar{X}$ , що виражається в долях  $\sigma$ ;

$\Sigma = |\sigma_1 \sigma_2 \dots \sigma_n|^T$  – матриця середньоквадратичних відхилень значень параметрів.

Задаючи певні значення відносних відхилень  $t$ , можна отримати області припустимих відхилень параметрів. При цьому, кожному заданому значенню  $t$  можна поставити у однозначну відповідність певну кількісну (бальну) оцінку. Крім того, кожному значенню  $t$  відповідає певне значення щільності ймовірності, котре буде незмінне в кожній точці деякої замкненою поверхні  $n$ -мірного простору. Межа цієї поверхні визначається виразом

$$X_0^T K^{-1} X_0 = G(t), \quad (2.3)$$

де  $X_t = |\sigma_1 t \sigma_2 t \dots \sigma_n t|^T$

Даний вираз може бути використаний в якості критерію оцінювання якості пілотування літака льотчиком за сукупністю кількісних значень параметрів, що визначають траєкторію виконання різних маневрів, або фігур пілотажу.

При цьому, якщо

$$X_0^T K^{-1} X_0 \leq G(t), \quad (2.4)$$

то значення параметрів входять до поля допусків.

Поставивши у відповідність значенням відносних відхилень кількісні (бальні) оцінки, наприклад, за чотирьохбальною шкалою оцінювання, отримаємо вираз

$$Q_{\text{бал}} = \left\{ \begin{array}{l} 5 \text{ при } X_0^T K^{-1} X_0 \leq G(t_5) \\ 4 \text{ при } G(t_5) < X_0^T K^{-1} X_0 \leq G(t_4) \\ 3 \text{ при } G(t_4) < X_0^T K^{-1} X_0 \leq G(t_3) \\ 2 \text{ при } G(t_3) < X_0^T K^{-1} X_0 \end{array} \right\}, \quad (2.5)$$

Формування оцінок по якості пілотування можна пояснити графічно на

прикладі нормального закону розподілу одного з параметрів  $x_1$  (рис.2.1).

Величини відносних відхилень  $t$  задаються в кожному конкретному випадку, виходячи з вимог керівних документів, що нормують виконання маневрів і фігур пілотажу, та статистичних характеристик.

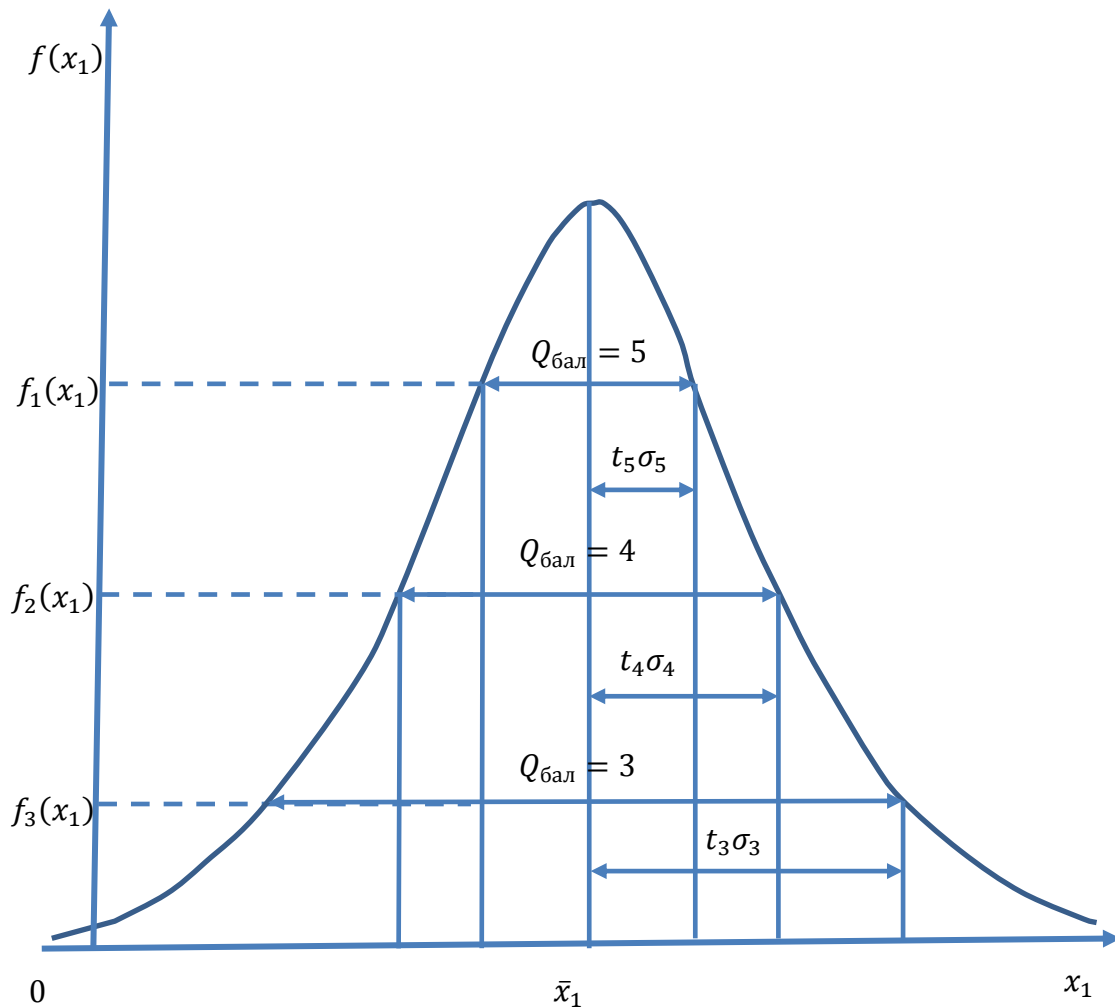


Рис.2.1. – Формування бальних оцінок якості пілотування на основі статистичних характеристик нормального закону розподілу оцінюваних параметрів польоту в характерних точках на траєкторії петлі Нестерова.

## **2.2. Методика автоматизації формування об'єктивних кількісних оцінок якості пілотування літака льотчиком**

Розроблені методика та критерій автоматизованої оцінки якості пілотування літака льотчиком на основі аналізу даних бортової системи реєстрації польотних даних (БСРПД) реалізовані у вигляді програми в діалоговому режимі.

В якості вихідних даних використовуються абсолютні значення параметрів в обраних характерних точках на траєкторіях виконання елементів польоту. Вибір цих точок і замірювання значень параметрів в них виконується за тестограмами. Але, підготовка вихідних даних таким чином потребує значних витрат часу.

Для оцінювання якості виконання льотчиками різних маневрів або фігур пілотажу необхідно мати еталон якості виконання для відповідного елементу польоту, мати можливість в автоматизованому режимі розпізнати цей елемент польоту, який виконано, визначити характерні точки на траєкторії його виконання, обрати параметри, які увійдуть до критерію оцінювання, порівняти значення цих параметрів у відповідних обраних точках траєкторії з еталонними значеннями та визначити чисельне значення критерію за заданим алгоритмом.

На рис. 2.2 наведено блок-схему, що пояснює методику автоматизації формування кількісних оцінок якості пілотування

Оцінювання доцільно проводити після виконання окремих маневрів, або фігур пілотажу [24, 34, 47]. Тому використовуються принцип та алгоритм розпізнання маневрів та фігур пілотажу при обробці польотних даних, що базуються на допусковому контролі та логічній обробці параметрів польоту та сигналів, що реєструються. Цей принцип ґрунтується на співставленні записів виконаних елементів пілотажу з їх еталонними “портретами”, кожному з яких відповідають характерні ознаки зі змінення параметрів польоту  $H$ ,  $V$ ,  $V_y$ ,  $n_y$ ,  $\gamma$ ,  $\vartheta$ ,  $\alpha$  та інших.

Згідно з цим принципом кожній фігурі пілотажу ставиться у однозначну відповідність вираз типу логічної функції. Алгоритм розпізнання кожного маневру або фігури пілотажу складено на основі її формалізованого представлення шляхом

заміни елементів фігур та ознак відповідними змінними [11, 19, 39, 50]

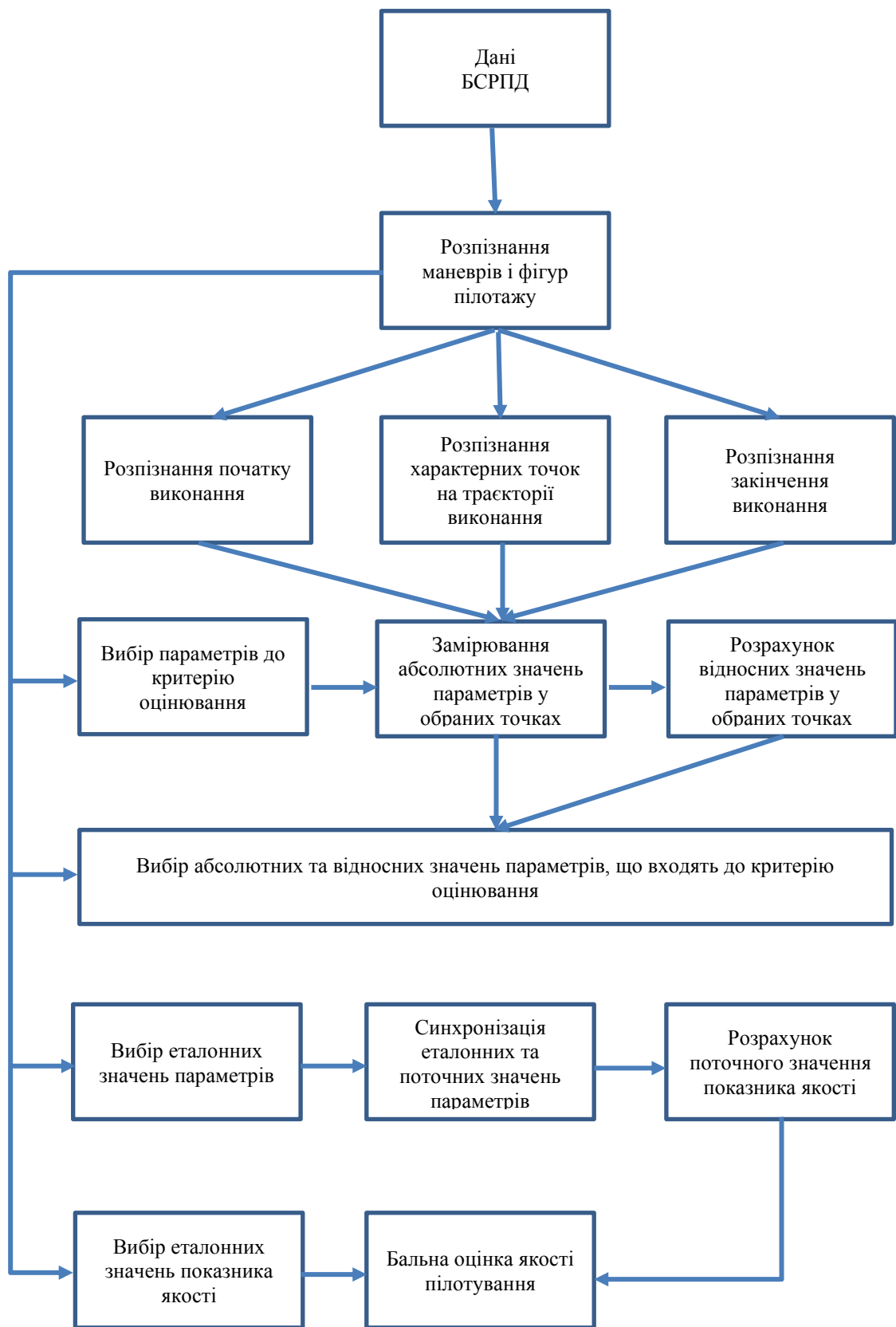


Рис. 2.2. – Методика автоматизації формування оцінок якості пілотування

Алгоритм розпізнання початку, закінчення маневру або фігури пілотажу, характерних точок на траєкторіях їх виконання аналогічний алгоритму розпізнання самих маневрів та фігур, та побудований на логічних функціях з використанням сукупності визначальних ознак. Наприклад, для виконання петлі Нестерова такими ознаками будуть характерні (відмітні) значення параметрів:

$V > 0$  (швидкість польоту більша за нульове значення);

$n_y = n_{y_{max}}$  при  $\Delta H > 0$  (нормальне перевантаження дорівнює максимальному значенню при різниці висоти більшою за нульове значення);

$V_{пр} = V_{прmin}$  (швидкість приладова дорівнює мінімальному значенню);

$H = H_{max}$  (висота польоту дорівнює максимальному значенню) та інші.

Замірювання абсолютних значень параметрів у обраних точках – це замірювання значень параметрів, що входять до критерію оцінювання даного маневру або фігури пілотажу на кадрах запису, які відповідають цим обраним точкам.

Для оцінювання кожного маневру або фігури пілотажу обирається кортеж власних, найбільш характерних параметрів (Швидкість приладова  $V_{пр}$ , висота польоту  $H$ , повздовжнє перевантаження  $n_x$ , нормальне перевантаження  $n_y$ , кут відхилення стабілізатору  $\varphi_{ст}$  та інші), котрі визначаються заздалегідь та заносяться до пам'яті обчислювального пристрою.

Критерій оцінювання якості пілотування літака льотчиком побудовано з застосуванням багатомірного нормального закону розподілу, а роботах [8,9] показано, що замірювання значень параметрів недостатньо для побудови такого критерію, тому що для ряду параметрів дана вимога не задовольняється. Тому доцільно розширити кількість компонент вектору параметрів, для чого виконується розрахунок їх відносних значень (значень параметрів в  $i$ -й точці на траєкторії виконання відповідного елемента польоту відносно  $j$ -ї).

Набори значень параметрів, за якими проводиться оцінювання виконання відповідного маневру, фігури пілотажу або окремого етапу польоту також визначається заздалегідь та заносяться до пам'яті обчислювального пристрою.



Критерій оцінювання якості пілотування базується на порівнянні поточних значень параметрів з їх еталонними значеннями, в якості яких обрані математичні сподівання та середньоквадратичні відхилення цих параметрів, розраховані при достатній кількості реалізацій відповідних елементів пілотажу льотчиком високої кваліфікації. Оцінювання проводиться за 4-бальною шкалою з виставленням оцінок (див. розділ 3):

$$Q_{\text{бал}} = \begin{cases} 5 \text{ при } X_0^T K^{-1} X_0 \leq G(t_5) \\ 4 \text{ при } G(t_5) < X_0^T K^{-1} X_0 \leq G(t_4) \\ 3 \text{ при } G(t_4) < X_0^T K^{-1} X_0 \leq G(t_3) \\ 2 \text{ при } G(t_3) < X_0^T K^{-1} X_0 \end{cases} \quad (2.6)$$

Запропонований критерій кількісної оцінки якості пілотування літака льотчиком може бути використано для оцінювання якості реалізації різних елементів пілотажу, а також окремих етапів польоту.

Запропонований алгоритм не вимагає великого обсягу пам'яті ЕОМ та може бути реалізований як у настільному комп'ютері, так і в засобах об'єктивного контролю, що вбудовані у прилад Stratomaster (DynonSkyView), яким комплектуються літаки легкого класу типу K-10 Swift та інших. Для цього потрібно програму, що реалізує запропонований алгоритм, ввести в матзабезпечення відповідного ЗОК.

До цього ж використання нової елементної бази з застосуванням мікрочипів дозволяє отримати достатньо компактні комбінаційні схеми множення та розосередити запам'ятовуючі пристрої еталонних та допускових значень параметрів за відповідними блоками, що забезпечує можливість встановлення пристроїв оцінювання на борту літака. Відповідні оцінки за виконаний елемент польоту поступають в бортову систему реєстрації польотних даних (БСРПД) і на індикатор, що встановлено в кабіні інструктора.

Використання даної методики автоматизованої кількісної оцінки якості пілотування літака льотчиком дозволяє звести до мінімуму суб'єктивізм оцінювання. Отримані бальні оцінки носять рекомендаційний характер для осіб, що оцінюють якість пілотажу та приймають рішення про доцільність продовження

льотного навчання конкретного льотчика.

Методику може бути використано для контролю динаміки підготовки та визначення рівня навченості льотчиків, що розпочинають літати (курсантів льотних училищ та шкіл), а також тих, хто відновлює втрачені навички після тривалих перерв у виконанні польотів.

Підвищення ступеню об'єктивності оцінки якості виконання польотних завдань дозволить обґрунтовано скоротити кількість учбово-тренувальних польотів, які гарантують потрібний рівень підготовки льотного складу.

### **3. АЛГОРИТМ ТА ПРОГРАМА АВТОМАТИЗОВАНОЇ КІЛЬКІСНОЇ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ПІЛОТУВАННЯ ЛІТАКА ЛЬОТЧИКОМ**

#### **3.1. Рішення задачі автоматизованого кількісного оцінювання якості виконання льотчиком петлі Нестерова**

В цій роботі для перевірки працездатності методики оцінювання якості пілотування літака льотчиком в якості прикладу обрані параметри критерію кількісного оцінювання якості виконання льотчиком такого маневру, як петля Нестерова [30, 34].

Вибір для аналізу реалізацій петлі Нестерова, як фігури вищого пілотаж, не є випадковим. Він ґрунтується тому, що при виконанні бойового маневрування майже завжди присутня ця фігура або її елементи. Крім того, при виконанні цієї фігури, в широкому діапазоні змінюються за відносно короткий час висота, швидкість польоту та нормальне перевантаження, що безумовно пред'являє високі вимоги до якості пілотування літака льотчиком. Петля Нестерова є елементом складного пілотажу зі складною технікою пілотування, що підтверджується наявністю значної кількості перехідних режимів протягом виконання фігури [44].

Для автоматизованої оцінки якості пілотування літака льотчиком необхідно мати еталон для елемента пілотажу, який виконується, мати можливість в автоматизованому режимі розпізнати елемент, який було виконано, порівняти його параметри з еталоном (синхронізувати початок) та визначити чисельні значення критерію за заданим алгоритмом. Задачі автоматизації розпізнавання елементів пілотажу, що виконуються, порівняння їх параметрів дуже ретельно розібрані в роботі [39, 45] та в ряді інших робіт, тому в даній роботі не розглядаються.

Аналізу було піддано 40 реалізацій петлі Нестерова. В більшості випадків при оцінюванні ступеню відповідності реалізацій бойового маневрування еталонним, нема необхідності розглядати інформацію про параметри траєкторії на всьому часовому інтервалі оцінювання, а достатньо оцінити ступінь відповідності параметрів еталонним значенням в характерних точках траєкторії. Це не

протирічить поглядам дидактики льотного навчання, яка пропонує використовувати та розрізняти ділянки пілотування, на яких використовуються усталені та перехідні режими польоту, опорні точки на траєкторії польоту, в котрих льотчик оцінює значення параметрів польоту з метою визначення закінчення однієї ділянки польоту та режиму пілотування і початку іншого [34].

Відповідно до наведеного, на підставі [48, 52] та аналізу матеріалів ЗОК на траєкторії фігури було обрано шість точок, що характеризуються певними ознаками (табл. 3.1).

Таблиця 3.1

Характерні точки на траєкторії петлі Нестерова

№ точки	Умовне позначення	Характерна ознака
1	$V_y > 0$	Початок зростання вертикальної швидкості польоту
2	$n_y = n_{y\ max}$	Максимальне значення нормального перевантаження вводу у фігури
3	$V_{пр} = V_{пр\ min}$	Мінімальне значення при борної швидкості при виконанні фігури
4	$H = H_{max}$	Максимальна висоти польоту при виконанні фігури
3	$n_y = n_{y\ max}$	Максимальне значення нормального перевантаження виводу з фігури
6	$V_y = 0$	Нульове значення вертикальної швидкості польоту

Параметри траєкторії  $H, V_{пр}, n_y$  в цих точках позначаються індексами 01,02,...,06, що позначає замірювання абсолютних значень.

За початок відліку часу приймається перша точка, час в котрій дорівнює

нулю для усіх реалізацій. В інших точках траєкторії час позначається 12,13,...,16, що позначає замірювання значень часу відносно першої точки.

Таким чином, отримуємо набір значень параметрів, які характеризують реалізацію фігури

$$X = |T, H, V, N|^T \quad (3.1)$$

$$\begin{aligned} \text{де } T &= |t_{12}, t_{13}, \dots, t_{16}|^T \\ H &= |H_{01}, H_{02}, \dots, H_{06}|^T \\ V &= |V_{\text{пр}01}, V_{\text{пр}02}, \dots, V_{\text{пр}06}|^T \\ N &= |n_{y01}, n_{y02}, \dots, n_{y06}|^T \end{aligned}$$

Більшість значень цих параметрів, при заданому числі реалізацій, підпорядковуються нормальному закону розподілу щільність ймовірності якого, згідно формулі (2.1), має вид

$$f(T, N, V, H) = (2\pi)^{-\frac{n}{2}} |K^{-1}| \exp \left\{ -\frac{1}{2} \begin{vmatrix} (\bar{T} - T)(\bar{H} - H)(\bar{V} - V)(\bar{N} - N) |K^{-1}| * \\ * (\bar{T} - T)(\bar{H} - H)(\bar{V} - V)(\bar{N} - N)^T \end{vmatrix} \right\}, \quad (3.2)$$

де  $n$  – загальна кількість компонент векторів параметрів  $T, H, V, N$

Якщо за еталонні значення параметрів прийняти їх математичні сподівання, тоді відхилення від цих еталонних значень можуть бути визначені, як відхилення від середніх значень з заданою довірчою ймовірністю, яка розраховується за формулою (2.2), де  $\Sigma = |\sigma_1 \sigma_2 \dots \sigma_n|^T$  – матриця середньоквадратичних відхилень параметрів  $T, H, V, N$ .

Для обраного вектору параметрів, вираз (2.5), що визначає бальні оцінки реалізацій даного виду маневрів, приймає вигляд

$$Q_{\text{бал}} = \left\{ \begin{array}{l} 5 \text{ при } \left| \begin{vmatrix} (\bar{T} - T)(\bar{H} - H)(\bar{V} - V)(\bar{N} - N) |K^{-1}| * \\ * (\bar{T} - T)(\bar{H} - H)(\bar{V} - V)(\bar{N} - N) \end{vmatrix} \leq G(t_5) \\ 4 \text{ при } G(t_5) < \left| \begin{vmatrix} (\bar{T} - T)(\bar{H} - H)(\bar{V} - V)(\bar{N} - N) |K^{-1}| * \\ * (\bar{T} - T)(\bar{H} - H)(\bar{V} - V)(\bar{N} - N) \end{vmatrix} \leq G(t_4) \\ 3 \text{ при } G(t_4) < \left| \begin{vmatrix} (\bar{T} - T)(\bar{H} - H)(\bar{V} - V)(\bar{N} - N) |K^{-1}| * \\ * (\bar{T} - T)(\bar{H} - H)(\bar{V} - V)(\bar{N} - N) \end{vmatrix} \leq G(t_3) \\ 2 \text{ при } G(t_3) < \left| \begin{vmatrix} (\bar{T} - T)(\bar{H} - H)(\bar{V} - V)(\bar{N} - N) |K^{-1}| * \\ * (\bar{T} - T)(\bar{H} - H)(\bar{V} - V)(\bar{N} - N) \end{vmatrix} \end{array} \right. \quad (3.3)$$

Критерій (2.3) може бути використаний тільки тоді, коли параметри розподілені за нормальним законом. Але не завжди це положення зберігається при замірюванні абсолютних значень параметрів [15]. Тому, використовуючи співвідношення

$$\begin{aligned}T_{ij} &= T_{1j} - T_{1i} \\H_{ij} &= H_{0j} - H_{0i} \\V_{ij} &= V_{0j} - V_{0i} \\N_{ij} &= N_{0j} - N_{0i}\end{aligned}\tag{3.4}$$

розширюємо кількість компонент вектору  $X$  [55]. Тоді, наприклад, значення  $H_{35}$  означає: перевищення значення висоти в п'ятій точці відносно третьої точки траєкторії.

В результаті обробки 40 реалізацій петлі Нестерова отримані статистичні характеристики, які представлені на рисунках 3.1 – 3.12, де

$m$  – математичне сподівання;

$\sigma$  – середньоквадратичне відхилення;

$A$  – асиметрія розподілу;

$E$  – ексцес розподілу.

Аналіз гістограм розподілу параметрів показує, що більша їх частина можуть бути апроксимовані нормальним законом розподілу [4, 5, 37,38].

На рисунці 3.13 представлені діаграми змінення  $\sigma_H, \sigma_V, \sigma_N$  за характерними точками траєкторії. Середньоквадратичні відхилення параметрів дозволяють судити про точність витримування того чи іншого параметру при пілотуванні [3]. З діаграм видно, що розкид значень висоти польоту в першій точці – мінімальний, а в п'ятій точці – максимальний. Мінімальний розкид значень приладової швидкості в четвертій точці, а нормального перевантаження – в третій. Характер змінення  $\sigma_V$  є аналогічним  $\sigma_N$ , що вказує на взаємопов'язане змінення приладової швидкості та нормального перевантаження. Отримані результати можуть бути використані особою, що приймає рішення при аналізі результатів виконання цієї фігури пілотажу льотчиками, що йому підпорядковуються.

Наявність статистичних залежностей математичних сподівань значень висоти, приладової швидкості та нормального перевантаження від часу (рис. 3.14) дозволяє провести порівняння з вимогами нормативних документів, що регламентують льотну роботу щодо виконання даної фігури.

На рисунці 3.14 видно, що льотчики, польоти яких оцінювались, в середньому, не витримують задане перевантаження на вводі в фігуру та створюють її уповільнено. Уповільнення темпу створення перевантаження та невитримання його заданого значення призводить до розтягування маневру у часі та просторі, а також до зменшення швидкості у верхній точці фігури.

Таким чином, статистична обробка та аналіз записів параметрів польоту дозволяє зробити висновок, про навченість льотчиків, які оцінюються та обґрунтувати заходи щодо усунення недоліків в навчанні.

Висуваючи гіпотезу про нормальний закон розподілу кожної компоненти вектору параметрів  $X$ , визначаємо ступінь відповідності поміж висунутою гіпотезою і статистичним матеріалом, котра встановлюється за допомогою критерію узгодженості. В якості критерію узгодженості приймаємо критерій  $\chi^2$  [12, 40, 59]. Для висунутої гіпотези про нормальний закон розподілу визначаємо ймовірність попадання в  $\sigma$ -і інтервали ряду. Значення цих ймовірностей наведені в табл. 3.2., при цьому в центрі  $j$ -ого інтервалу розташовано математичне сподівання значень параметрів.

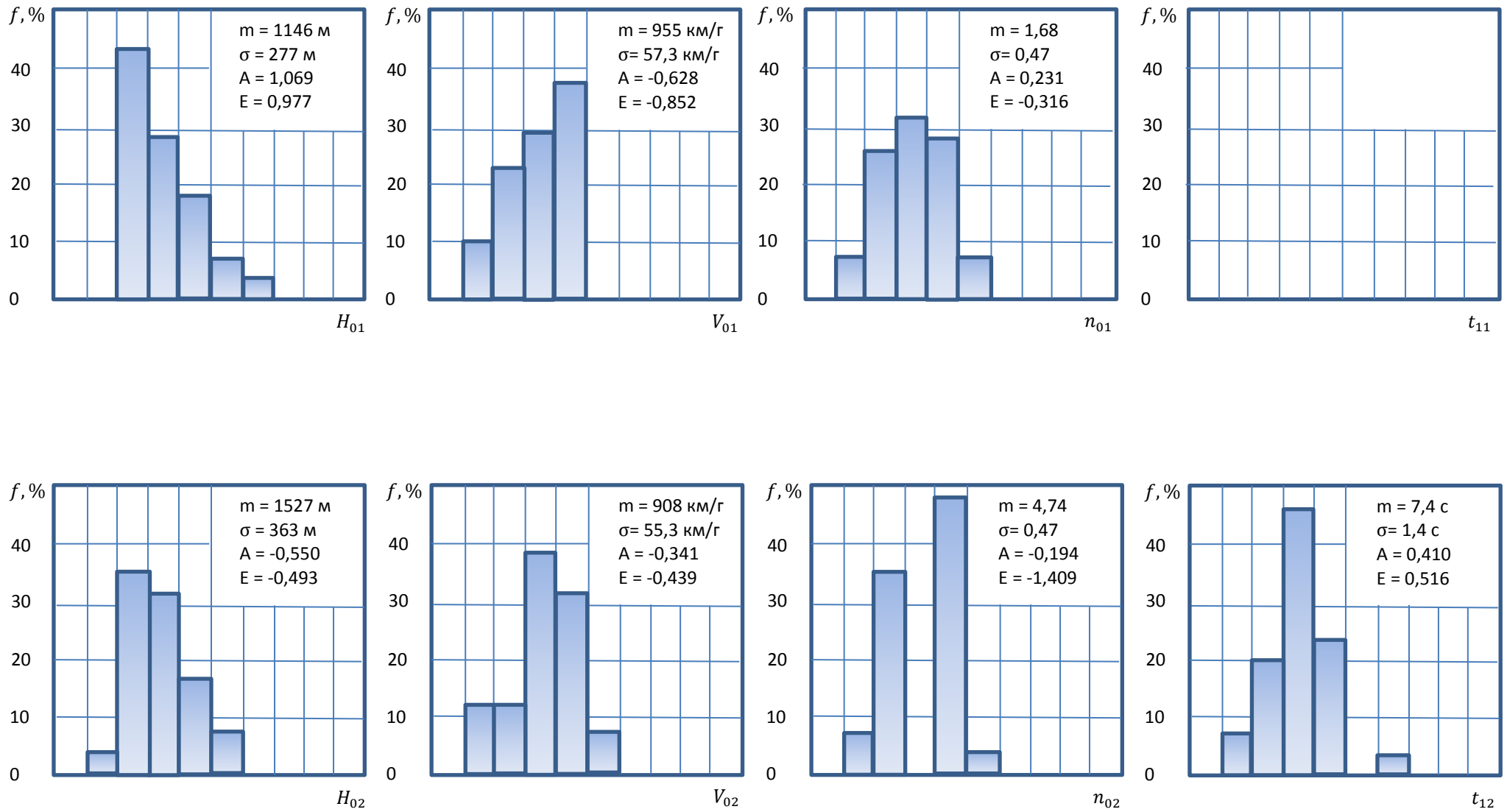


Рис. 3.1 – Статистичні характеристики розширеного вектору параметрів, що оцінюються



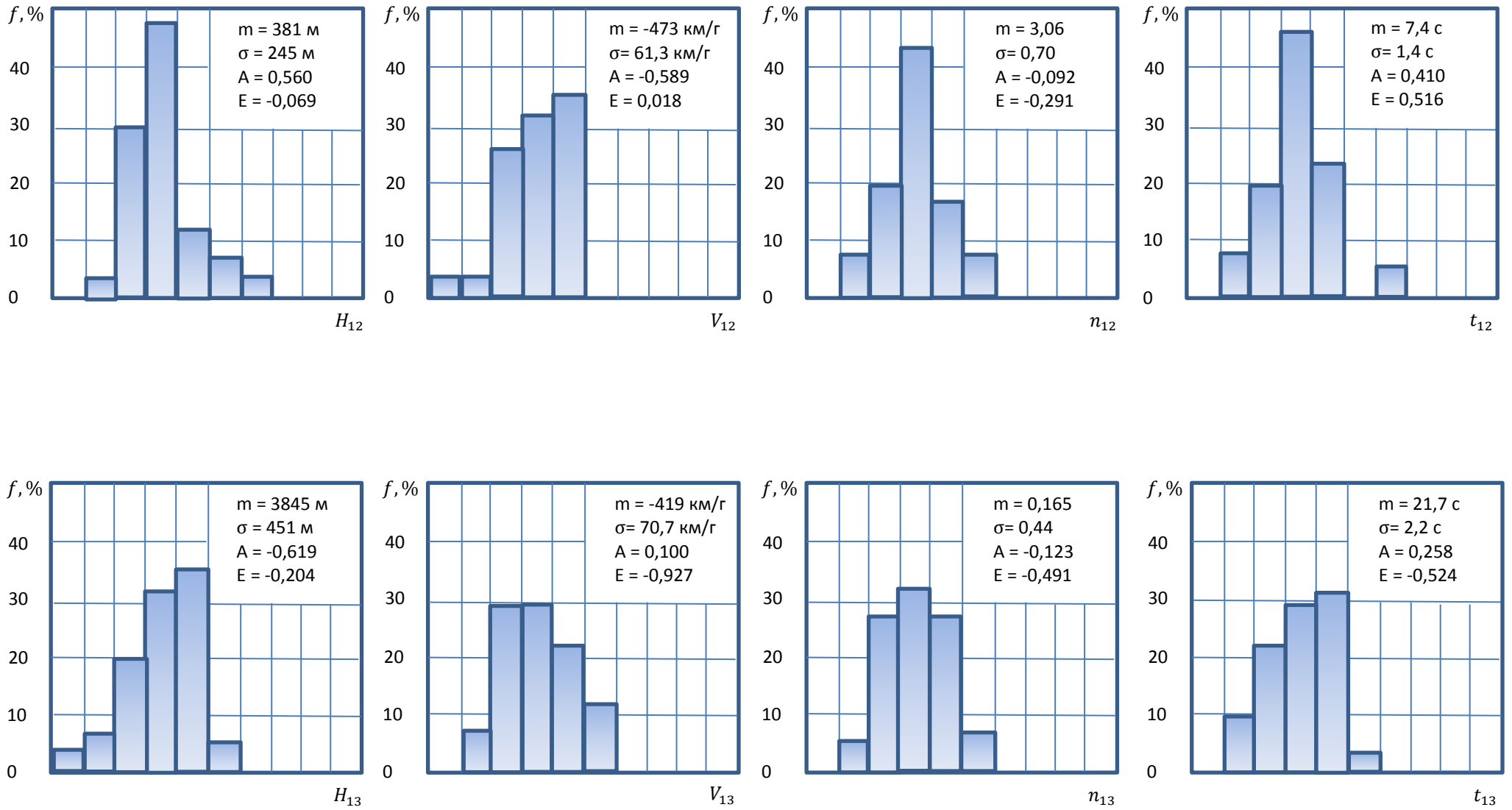


Рис. 3.2 – Статистичні характеристики розширеного вектору параметрів, що оцінюються

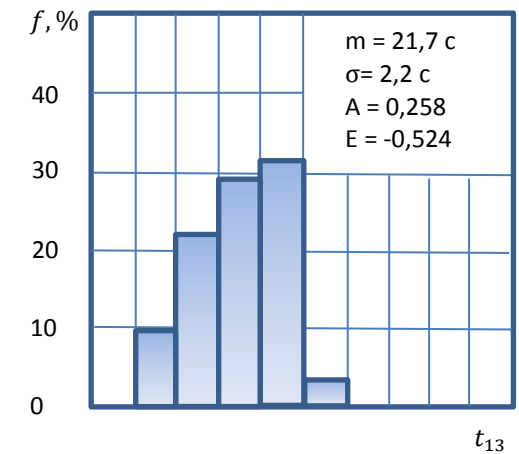
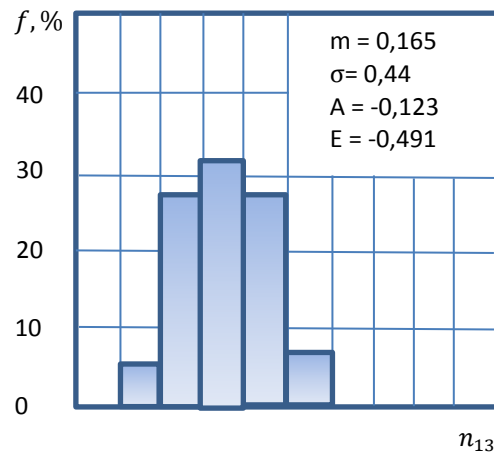
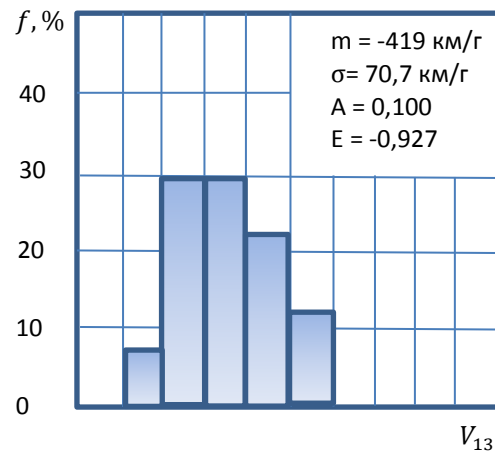
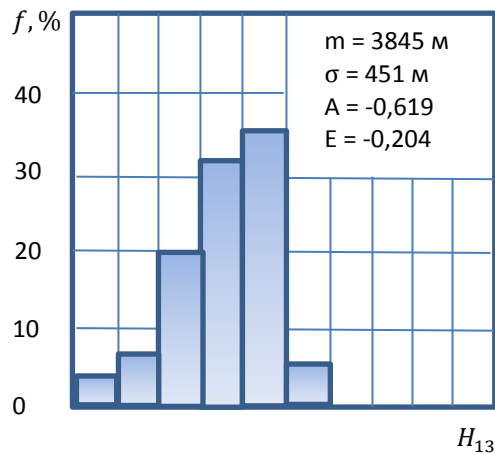
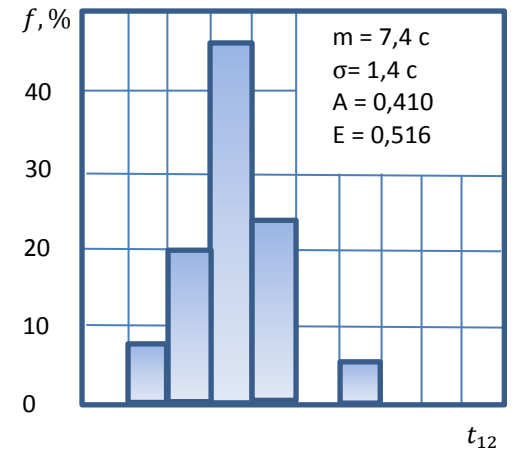
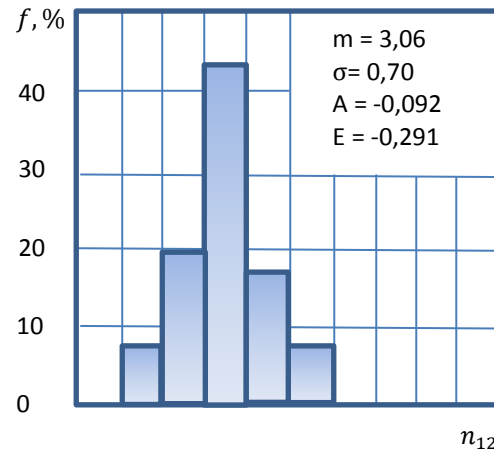
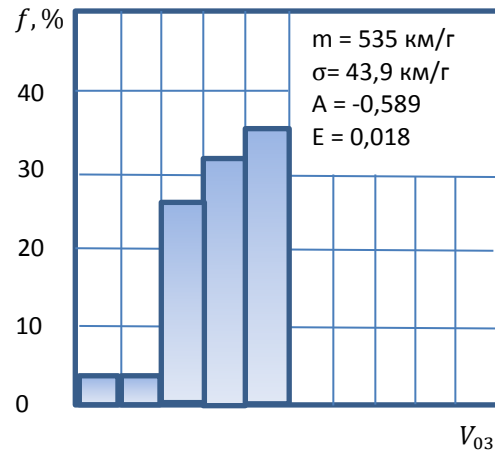
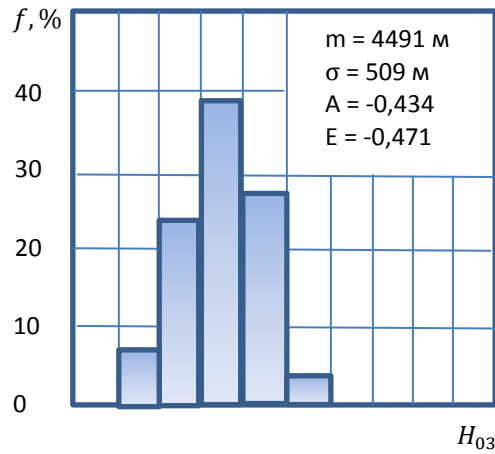


Рис. 3.3 – Статистичні характеристики розширеного вектору параметрів, що оцінюються

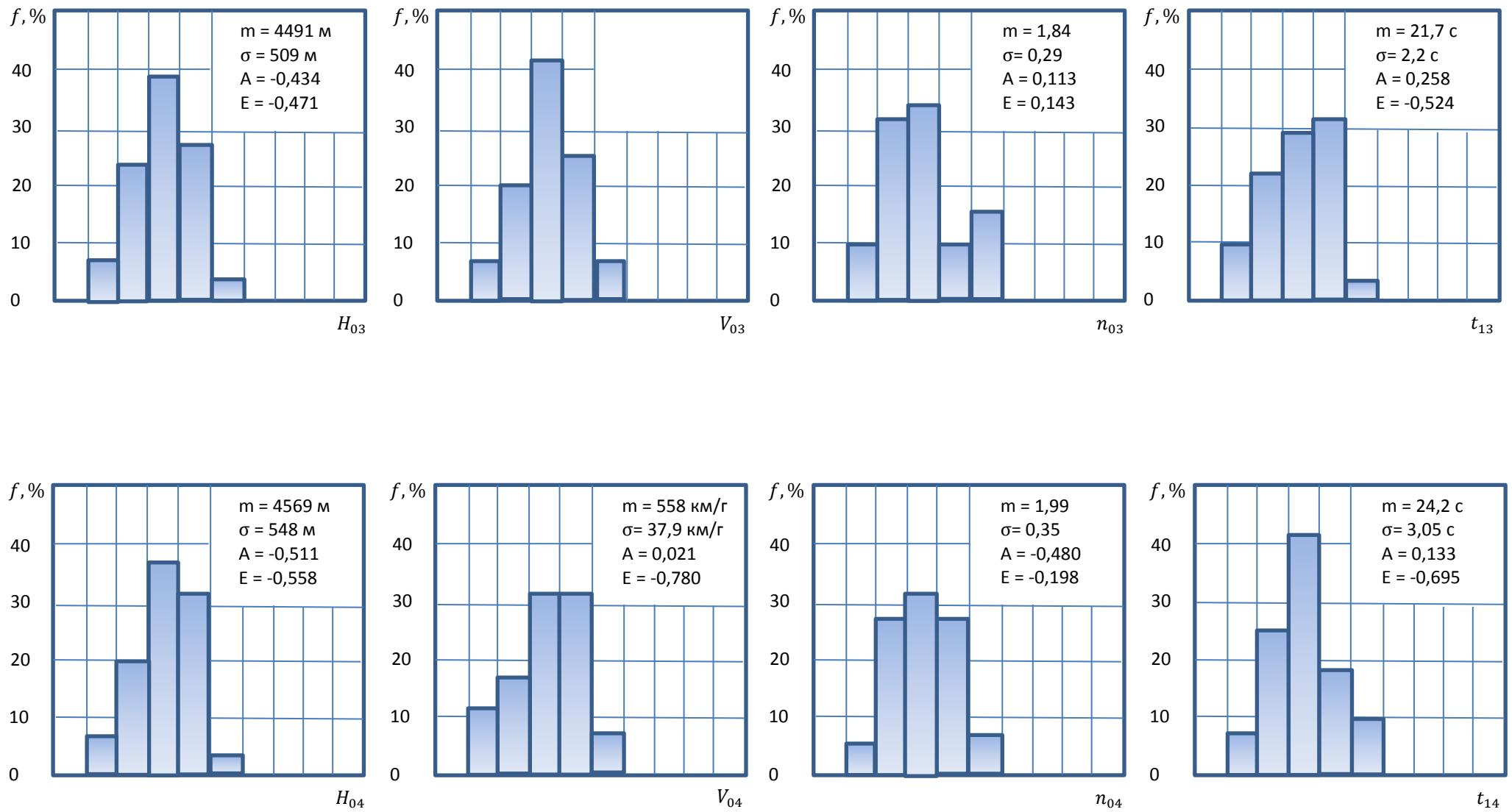


Рис. 3.4 – Статистичні характеристики розширеного вектору параметрів, що оцінюються

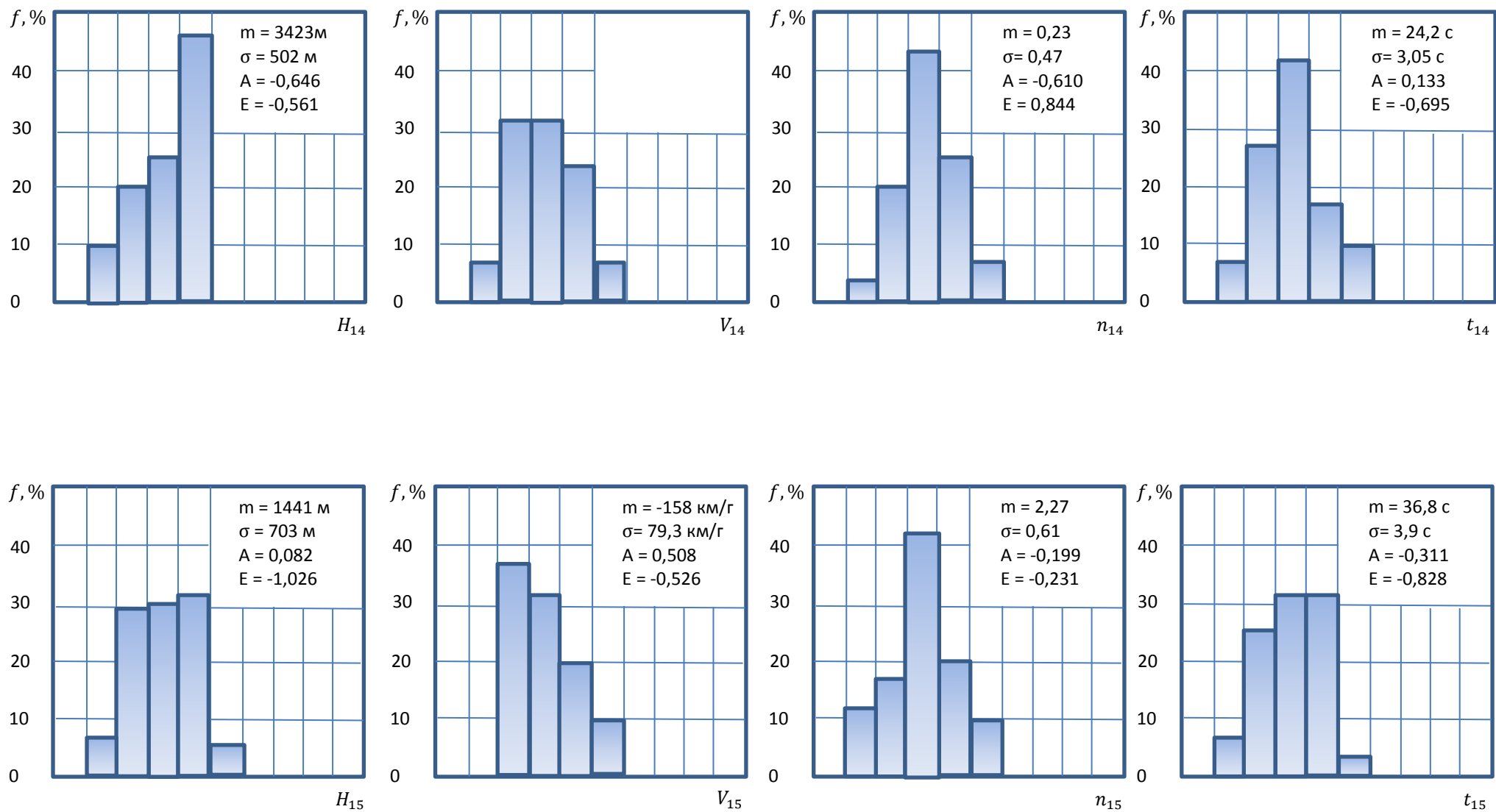


Рис. 3.5 – Статистичні характеристики розширеного вектору параметрів, що оцінюються

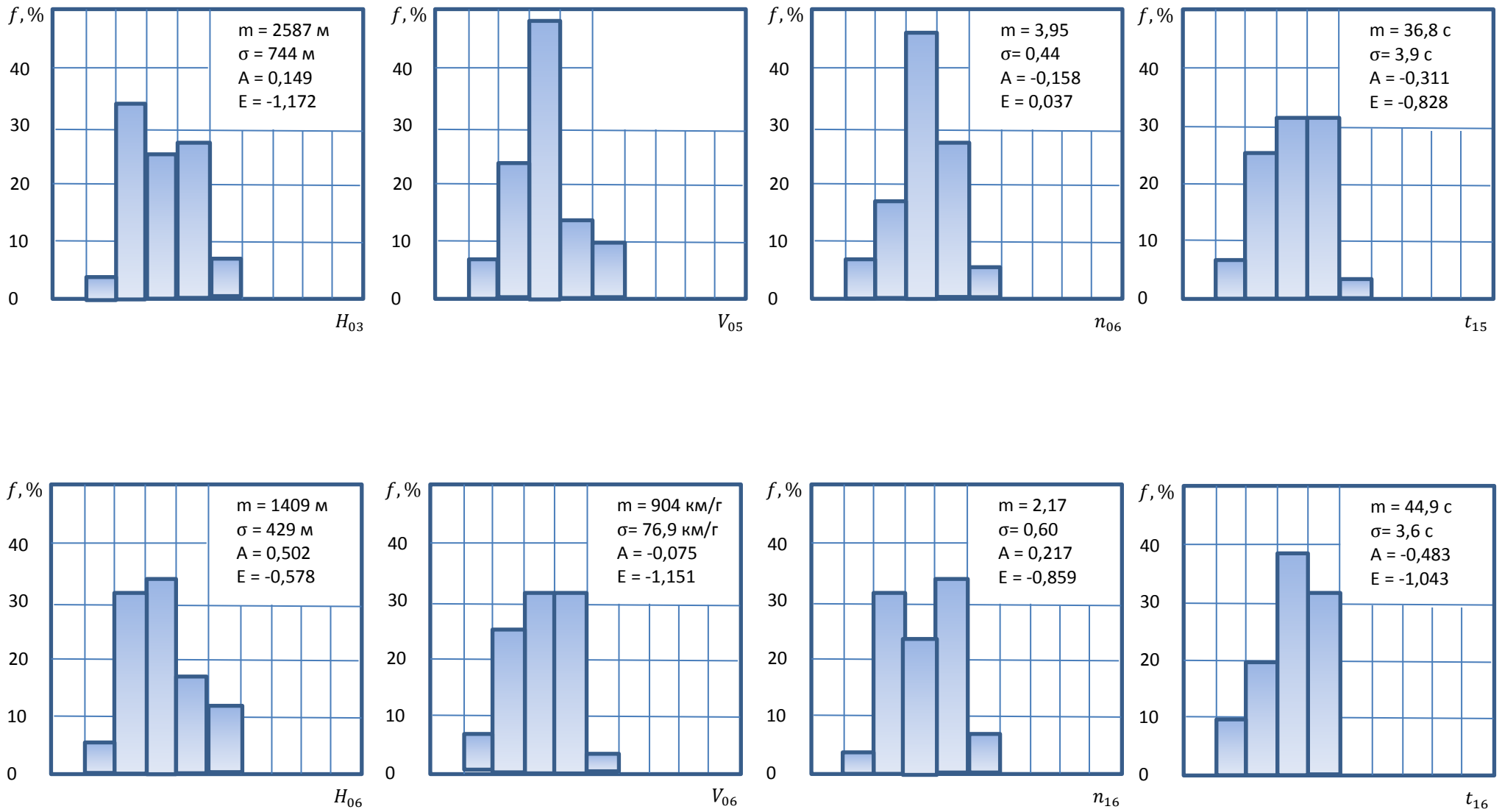


Рис. 3.6 – Статистичні характеристики розширеного вектору параметрів, що оцінюються

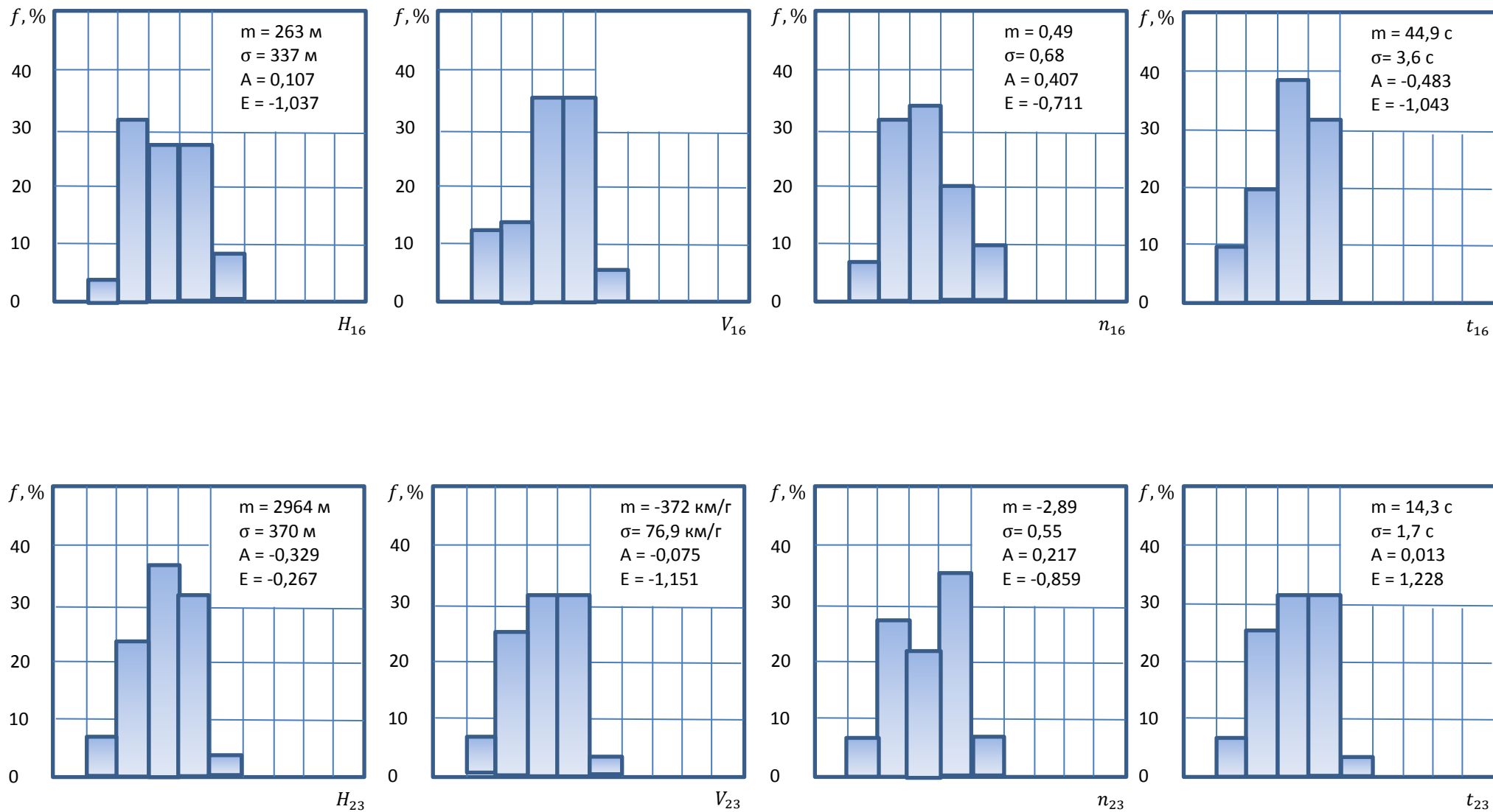


Рис. 3.7 – Статистичні характеристики розширеного вектору параметрів, що оцінюються

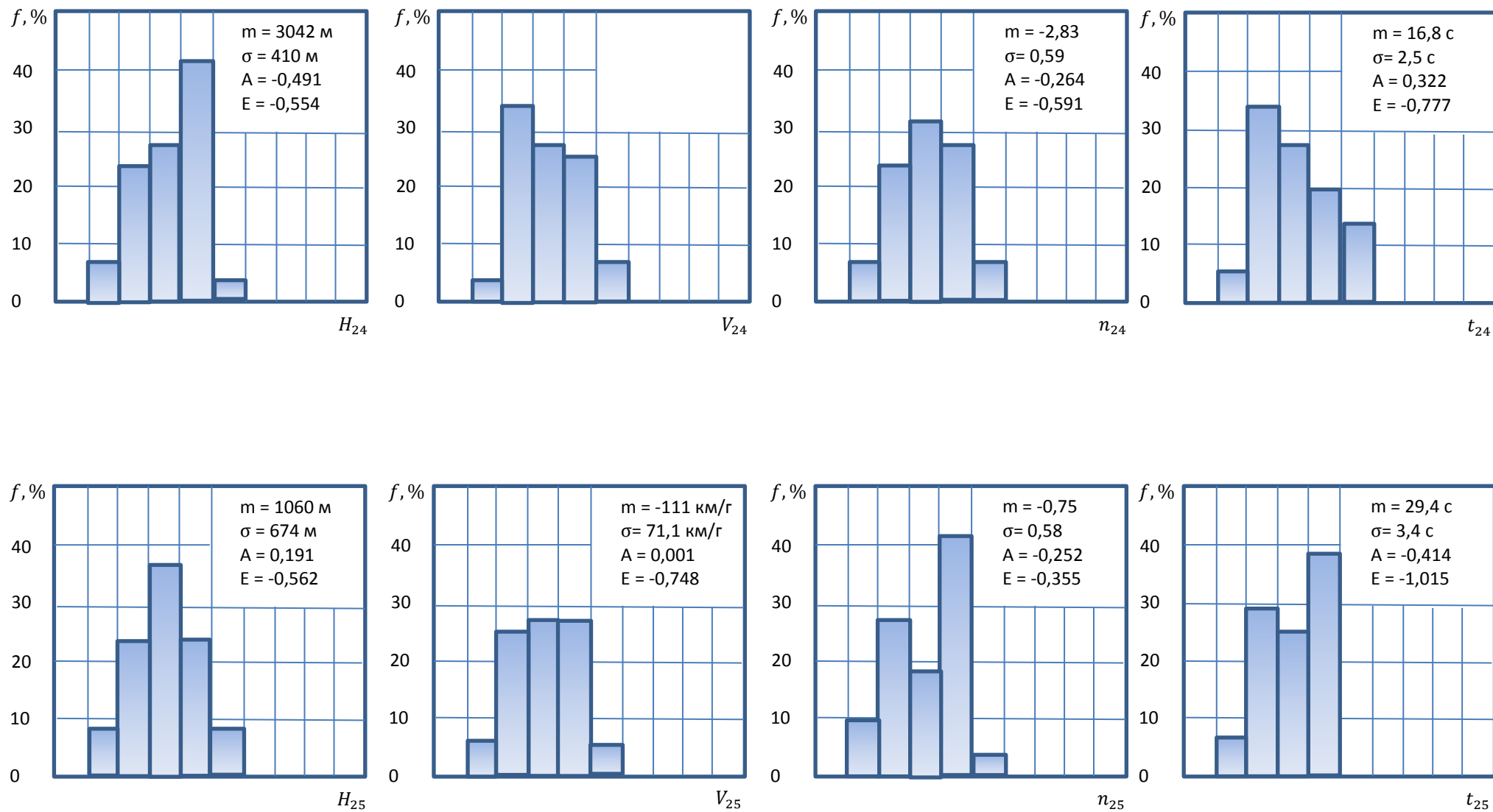


Рис. 3.8 – Статистичні характеристики розширеного вектору параметрів, що оцінюються

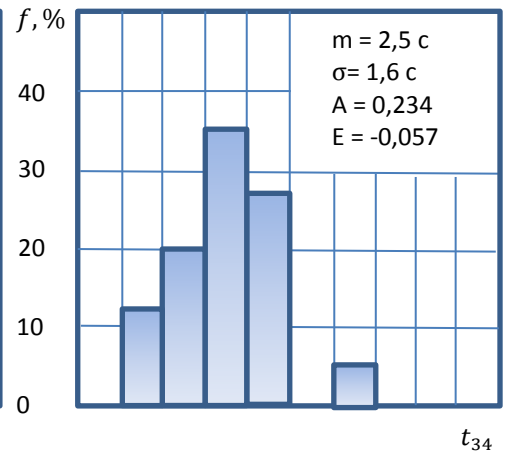
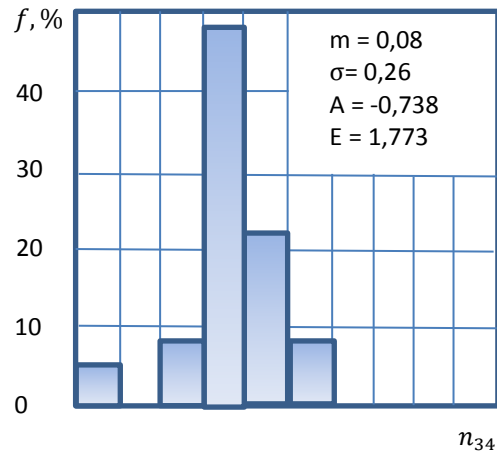
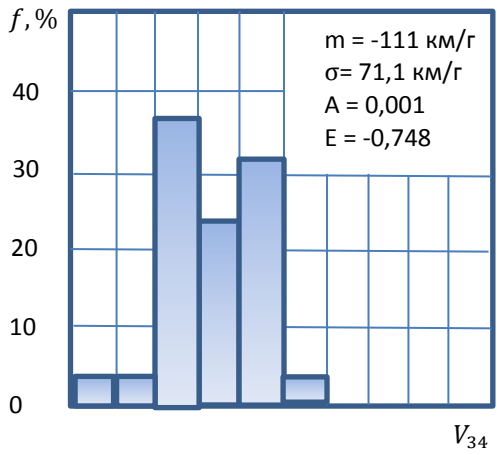
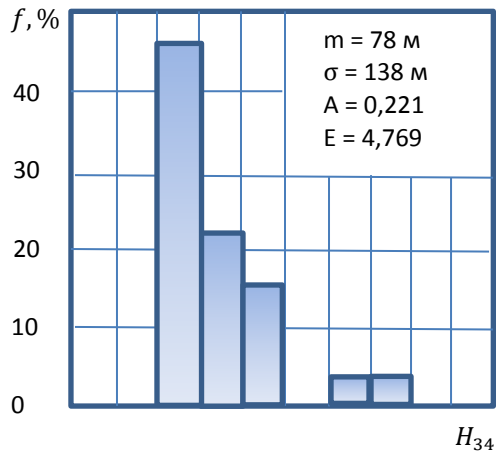
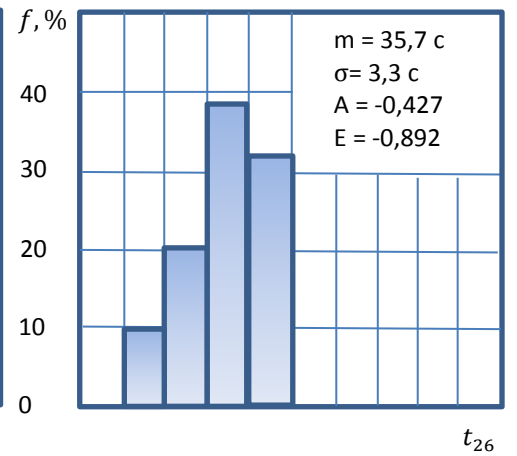
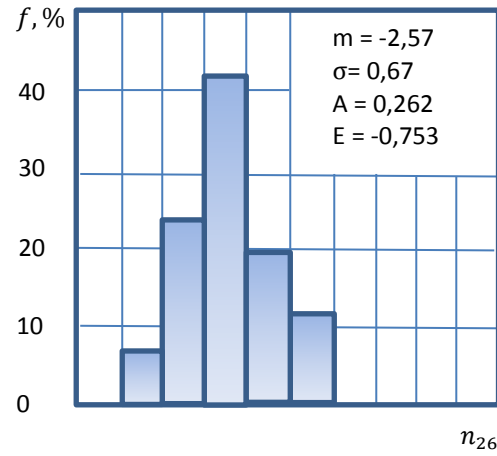
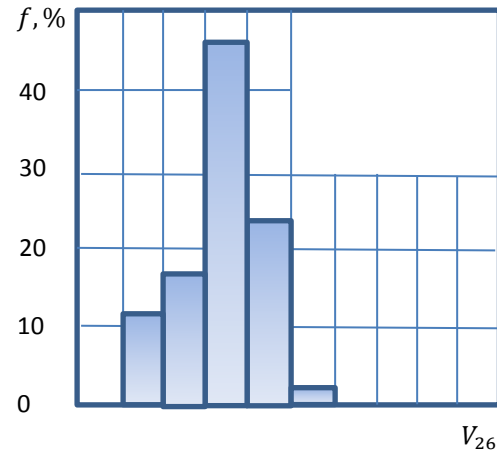
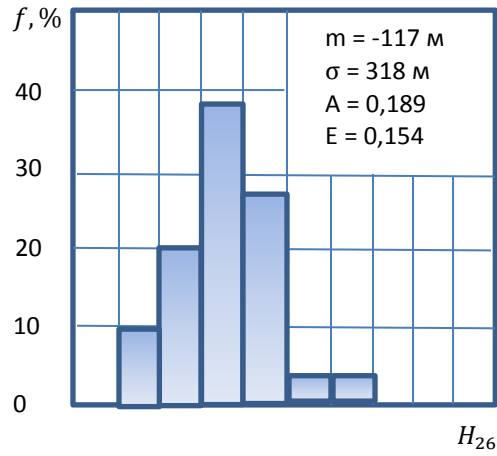


Рис. 3.9 – Статистичні характеристики розширеного вектору параметрів, що оцінюються



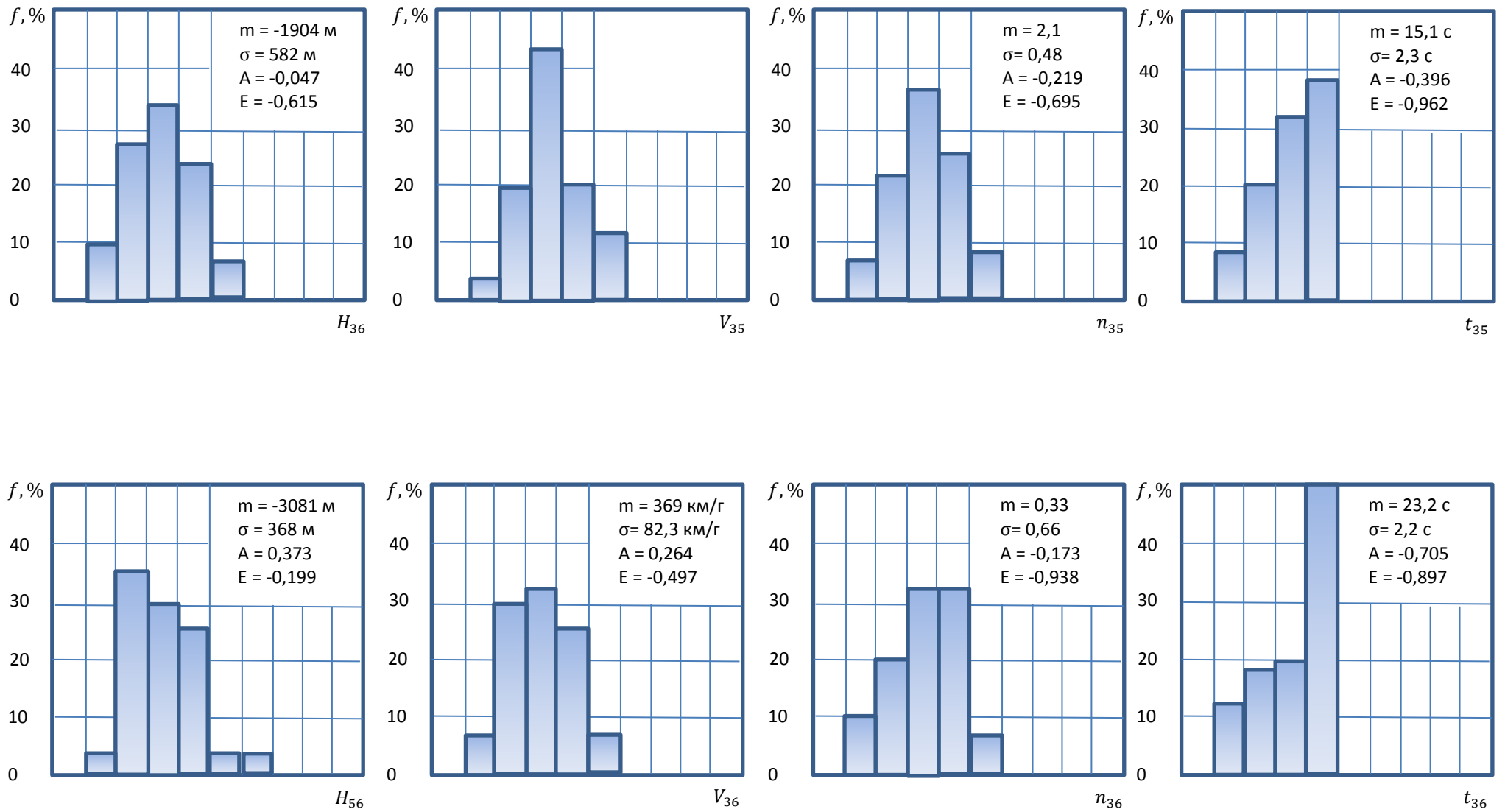


Рис. 3.10 – Статистичні характеристики розширеного вектору параметрів, що оцінюються

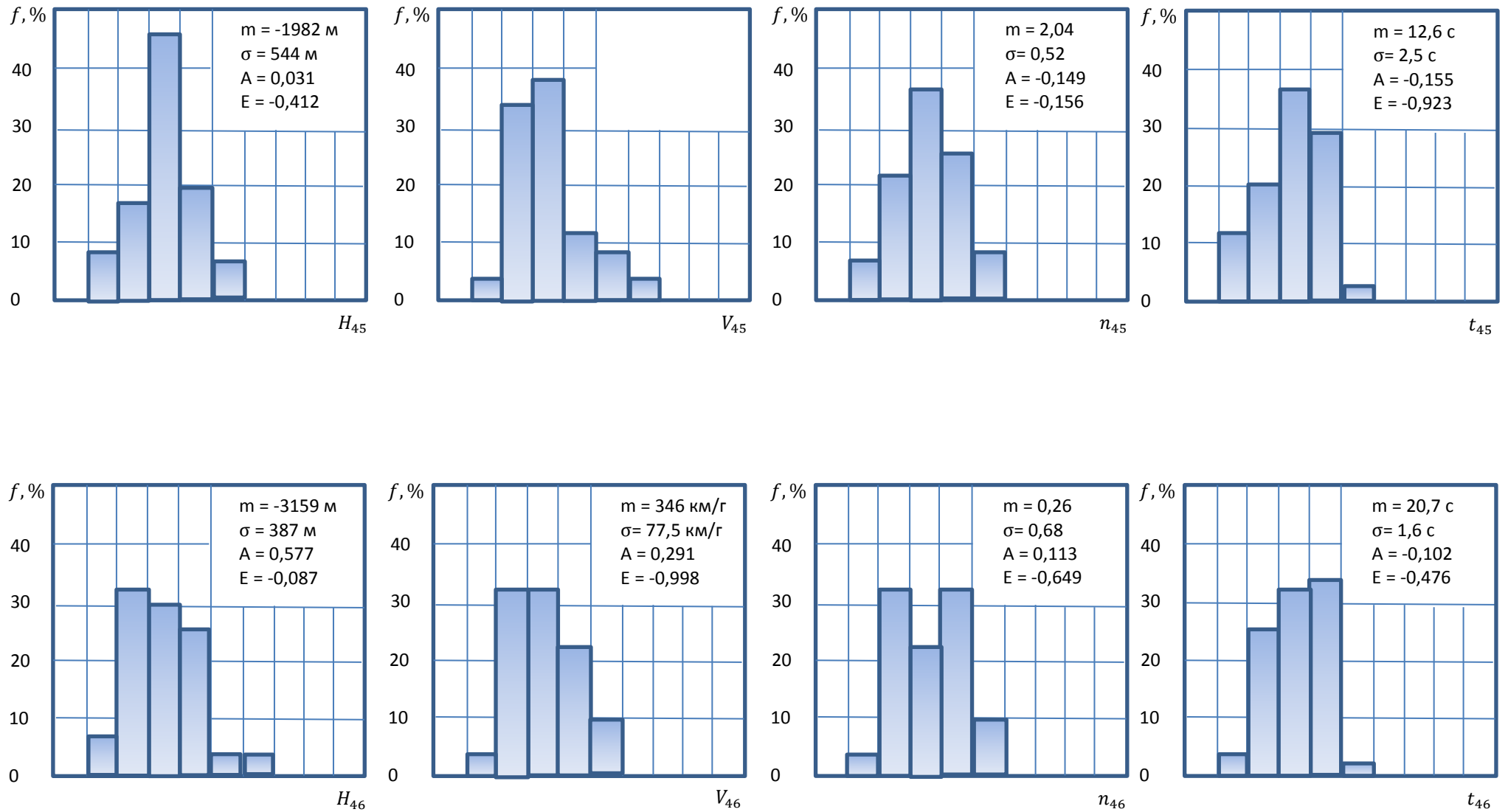


Рис. 3.11 – Статистичні характеристики розширеного вектору параметрів, що оцінюються

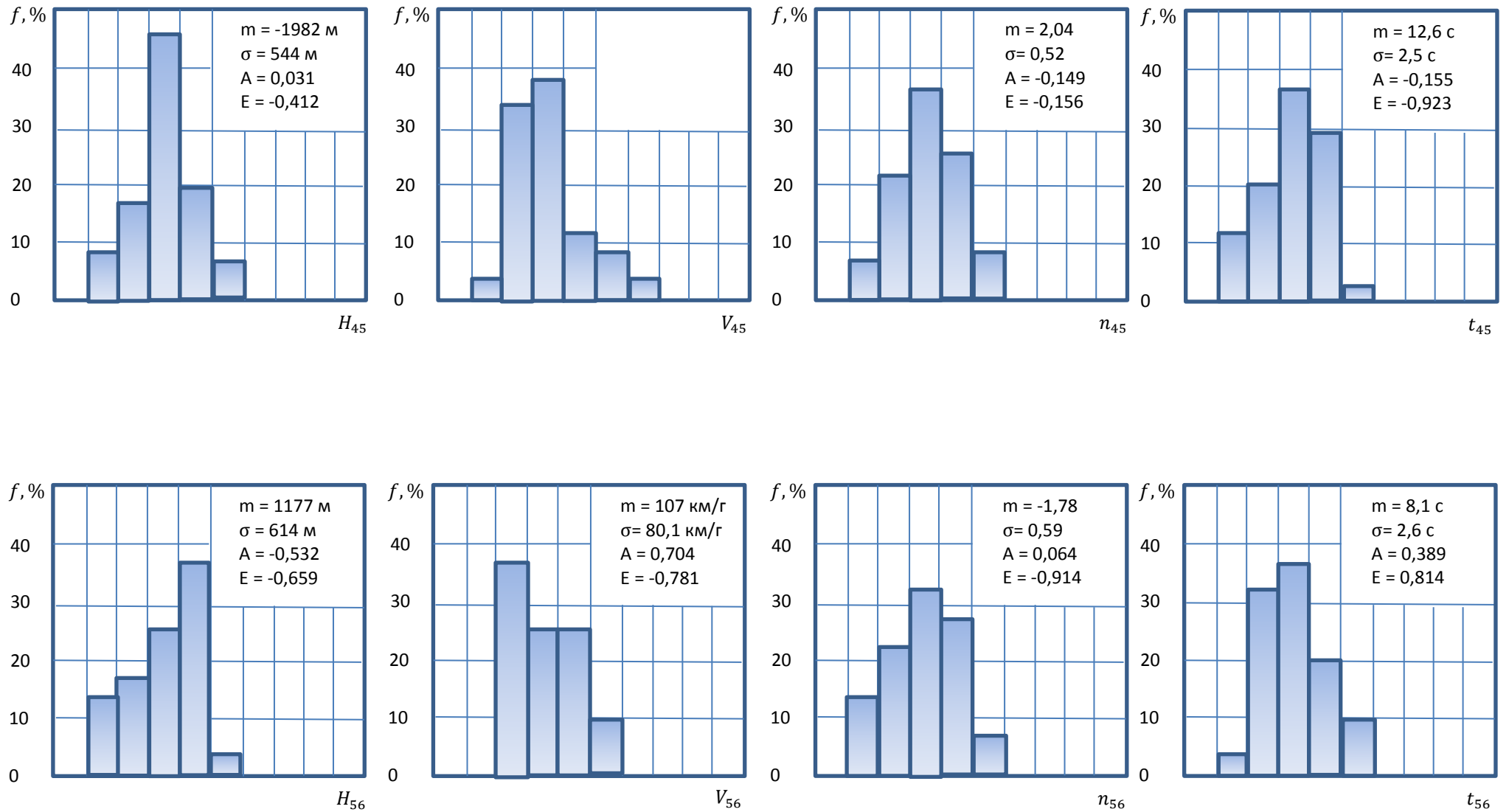


Рис. 3.12 – Статистичні характеристики розширеного вектору параметрів, що оцінюються

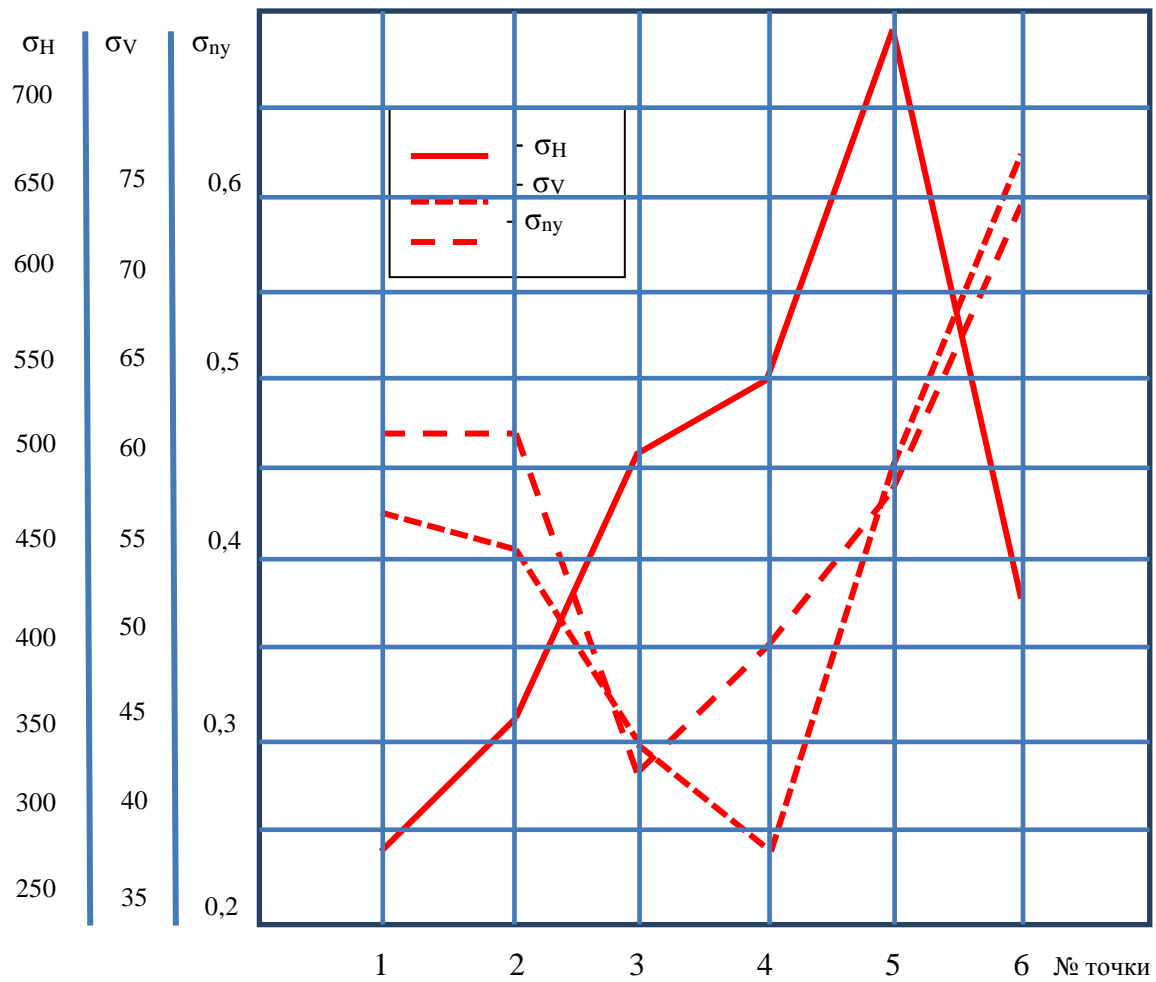


Рис. 3.13 – Діаграми змінення середньоквадратичних відхилень оцінюваних параметрів (висоти, швидкості та нормального перевантаження) по точках, в яких здійснюється оцінювання

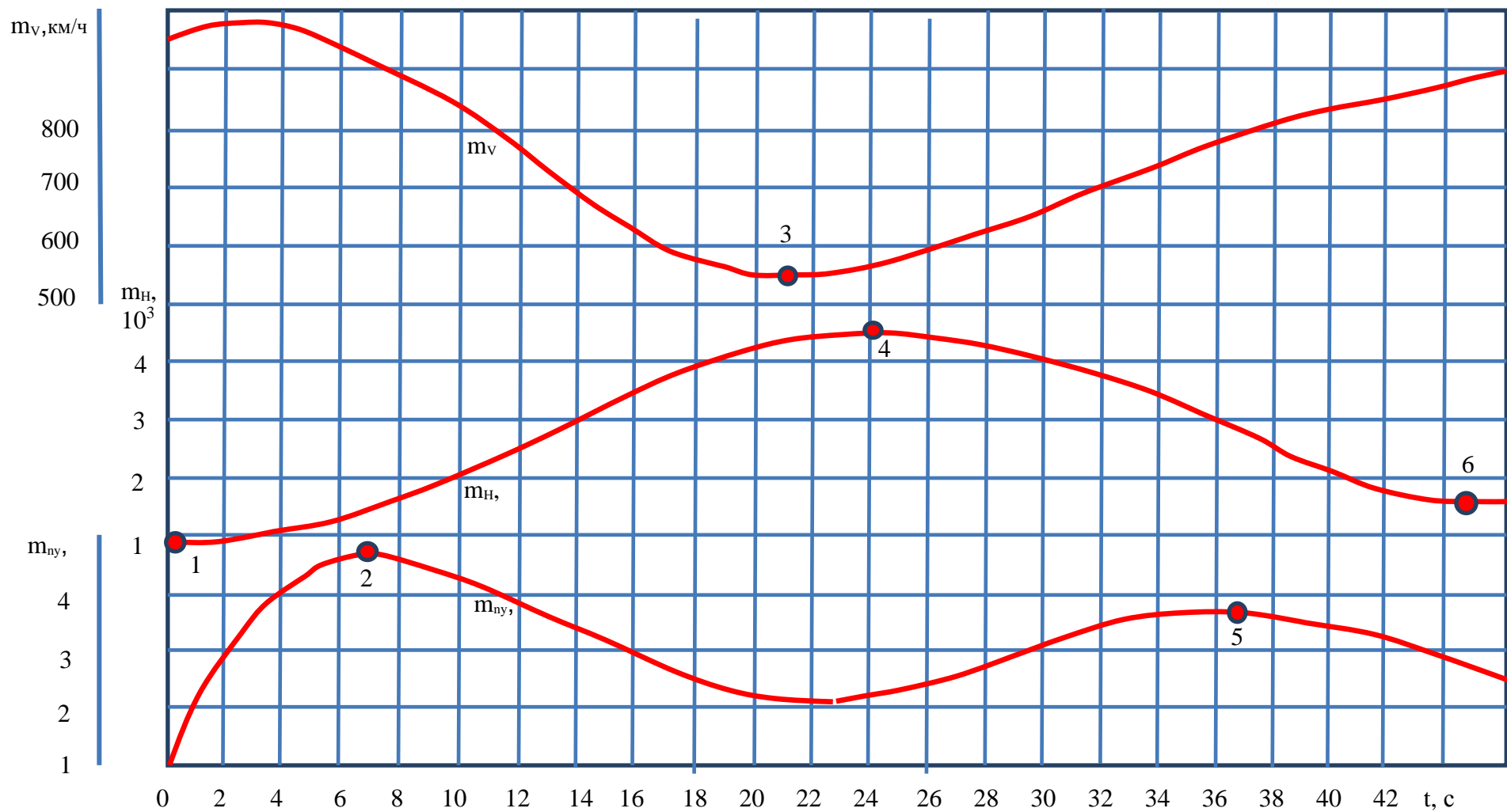


Рис. 3.14 – Характер змінення математичного очікування оцінюваних параметрів (швидкості, висоти, нормального перевантаження) протягом виконання петлі Нестерова та їх значення в характерних точках для оцінювання.

Таблиця 3.2

Значення ймовірності попадання в  $i$ -і інтервал  
що відповідає нормальному закону розподілу

$i$	$j - 4$	$j - 3$	$j - 2$	$j - 1$	$j$	$j + 1$	$j + 2$	$j + 3$	$j + 4$
$P_i$	0,0002	0,006	0,0606	0,2407	0,383	0,2407	0,0606	0,006	0,0002

Обчислюємо значення  $\chi_q^2$ , котре представляє собою значення випадкової величині  $\chi^2$ , котре відповідає даній виборці та висунутій гіпотезі, за формулою

$$\chi_q^2 = \sum_{i=1}^m \frac{(l_i - L P_i)^2}{L P_i} = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^m \frac{l_i}{P_i} - L \quad (3.5)$$

де  $l_i$  – частота з'явлення параметра в  $i$ -му інтервалі варіаційного ряду;

$m$  – кількість інтервалів варіаційного ряду;

$L$  – кількість реалізацій.

Визначення величини  $F_k(\chi_k^2)$  може бути вироблено:

а) з використанням стандартних пакетів програм математичного забезпечення статистичних розрахунків – за формулою

$$F_k(\chi_k^2) = \frac{1}{2^{\frac{k}{2}} \Gamma(\frac{k}{2})} \int_0^{\chi_k^2} e^{-\frac{t}{2}} t^{\frac{k}{2}-1} dt, \quad (3.6)$$

де  $\Gamma(\frac{k}{2})$  – гама-функція;

б) за довідковими таблицями значень  $F_k(\chi_k^2)$  [8, 12].

Знаючи значення  $F_k(\chi_k^2)$ , визначаємо ймовірність того, що при прийнятій гіпотезі про нормальний закон розподілу випадкових величин  $\chi^2$  перевершить значення  $\chi_q^2$

$$P(\chi^2 > \chi_q^2) = 1 - F_k(\chi_k^2) \quad (3.7)$$

В таблиці 3.3 представлено значення ймовірностей  $P_{T_i}, P_{H_i}, P_{V_i}, P_{N_i}$ , які визначають достовірність прийнятої гіпотези про нормальний закон розподілу. При цьому, якщо ймовірність  $P$  менше прийнятого рівня значущості  $P_\delta = 0,4$ , то гіпотезу відкидаємо, як неправдоподібну.



Таблиця 4.3

Значення ймовірності, що визначає достовірність гіпотези  
про нормальний закон розподілу

$i$	$P_{T_i}$	$P_{H_i}$	$P_{V_i}$	$P_{N_i}$
1	2	3	4	5
01	–	0,4340	0,1190	0,1890
02	–	0,0549	0,0136	0,0
03	–	0,5780	0,5940	0,0307
04	–	0,1170	0,3560	0,5220
05	–	0,3250	0,0927	0,1510
06	–	0,0290	0,0015	0,3300
12	0,3940	0,0050	0,0274	0,1060
13	0,3375	0,1630	0,2660	0,3960
14	0,5220	0,0040	0,4770	0,4060
15	0,0793	0,1010	0,0022	0,1520
16	0,0110	0,3780	0,0	0,1610
23	0,1600	0,3990	0,0321	0,0578
24	0,2230	0,0973	0,2720	0,5080
25	0,0042	0,5080	0,5010	0,5800
26	0,0330	0,6510	0,0233	0,1900
34	0,2730	0,0025	0,0007	0,0183
35	0,2400	0,5800	0,0254	0,4410
36	–	0,4250	0,2620	0,2460
45	0,3330	0,5270	0,0005	0,2050
46	0,5830	0,5800	0,0001	0,3960
56	0,1960	0,1420	0,0105	0,3970

В таблиці 3.4 представлені 16 параметрів, які задовольняють умові  $P > P_\delta$



Таблиця 3.4

Параметри вектору оцінювання, які задовольняють умові  $P > P_\delta$

№ точки	Параметри, що заміряються			
	<i>T</i>	<i>H</i>	<i>V</i>	<i>N</i>
1	2	3	4	5
1	–	$H_{01}$	–	$N_{14}$
2	–	$H_{26}$	$V_{25}$	$N_{24}$
3	–	$H_{35}$	$V_{03}$	$N_{35}$
4	$T_{14}$	$H_{45}$	$V_{14}$	$N_{04}$
5	–	$H_{25}$	–	$N_{25}$
6	$T_{46}$	$H_{46}$	–	–

Але не усі обрані таким чином компоненти слід використовувати для оцінювання, так як частина з них будуть достатньо сильно корелювати поміж собою [9, 17, 49]. Аналіз матриці коефіцієнтів кореляції показує, що такі параметри як  $H_{35}$ ,  $H_{45}$ ,  $N_{25}$  сильно корельовані поміж собою (дивись таблицю 3.5)

Таблиця 3.5

Коефіцієнти кореляції параметрів оцінювання

--	$H_{35}$	$H_{45}$	$N_{25}$
$H_{35}$	1	0,98	-0,72
$H_{45}$	0,98	1	-0,73
$N_{25}$	-0,72	-0,73	1

Ця обставина дозволяє залишити для оцінювання по одному параметру з ряду сильно корелюючих, що скорочує кількість параметрів, що оцінюються та знижає рівень перешкод, які вносяться їх корельованістю [16,18, 54]. Таким чином отримуємо три варіанти набору параметрів:

Варіант А  $\in \{H_{01}, H_{26}, H_{35}, H_{46}, V_{03}, V_{14}, V_{25}, N_{14}, N_{24}, N_{35}, N_{04}, T_{14}, T_{46}\}$ ,

Варіант В  $\in \{H_{01}, H_{26}, H_{45}, H_{46}, V_{03}, V_{14}, V_{25}, N_{14}, N_{24}, N_{35}, N_{04}, T_{14}, T_{46}\}$ ,

Варіант С  $\in \{H_{01}, H_{26}, H_{46}, V_{03}, V_{14}, V_{25}, N_{14}, N_{24}, N_{25}, N_{35}, N_{04}, T_{14}, T_{46}\}$ .

Для кожного варіанту набору параметрів множини реалізацій за формулою обчислюємо ряд значень величин  $G(t)$  при  $t = t_5, t = t_4, t = t_3$ , котрі відповідають оцінкам «5», «4» та «3» бальної шкали, при цьому  $t_5 = 0,5; t_4 = 1; t_3 = 1,5$ .

Значення оцінок реалізацій за варіантами критерію А, В та С наведені в таблиці 3.6, з якої видно, що оцінки за різними варіантами критерію відрізняються не більше ніж на один бал.

Таблиця 3.6

Оцінка реалізацій за варіантами критерію

№№ реалізацій	Оцінка реалізацій			№№ реалізацій	Оцінка реалізацій		
	А	В	С		А	В	С
1	2	3	4	5	6	7	8
1	5	5	5	21	а	4	4
2	3	3	3	22	4	4	4
3	4	4	4	23	4	4	4
4	4	4	4	24	5	5	5
5	2	2	2	25	2	3	3
6	4	5	5	26	3	3	3
7	3	3	3	27	2	3	3
8	4	3	4	28	2	2	8
9	3	3	3	29	5	5	5
10	5	5	5	30	2	2	2
11	4	4	4	31	4	5	5
12	3	3	3	32	4	4	5
13	2	2	2	33	2	2	3
14	3	3	3	34	4	5	5
15	2	2	2	35	2	2	2
16	3	3	3	36	3	4	4
17	3	4	4	37	3	3	3
18	3	4	4	38	4	4	4
19	2	2	2	39	4	4	4
20	2	3	3	40	4	4	4



В таблиці 3.7 наведені дані щодо узгодженості оцінок різних реалізацій за трьома варіантами критерію у відсотках від загального числа реалізацій, що були оцінені

Таблиця 3.7

Узгодженість оцінок різних реалізацій за варіантами критерію оцінювання

Відношення варіантів критерію	Узгодженість оцінок	Перевищення оцінок на один бал	Приймення оцінок на один бал
А к В	72,5	2,5	2,5
А к С	70	0	3,0
В к С	92,5	0	7,5

Виходячи з наведеного, для оцінювання реалізацій петлі Нестерова доцільно використовувати варіант А критерію оцінки, який пред'являє більш жорсткі вимоги до якості виконання даної фігури.

При використанні в якості еталону траєкторій, які були отримані за методикою, викладеною в [14], фізичні значення параметрів маневру переводяться в кодовану форму, з урахуванням тарифувальних характеристик датчиків реєстраторів конкретного літака [41, 60], з подальшим зведенням цих значень в упорядкований масив даних. Підготовлені таким чином еталонні траєкторії для визначеного етапу польоту, для конкретного літака, для потрібного набору параметрів, що оцінюються та оформлені у вигляді пакетів інформації вводяться у пам'ять обчислювальної машини [31].

## **3.2. Опис програми формування шкали оцінок якості виконання льотчиком петлі Нестерова**

### **3.2.1. Загальні відомості про програму**

"NESTER" – програма формування шкали оцінок якості виконання льотчиком петлі Нестерова.

Для функціонування програми в математичне забезпечення ЕОМ мають входити наступні стандартні підпрограми:

SUB MAS – відбір з повного масиву даних спостережень підмасив тих спостережень, котрі задовольняють умовам невиходу значень параметрів за встановлені обмеження допусків;

STAT – обчислення середніх, стандартних відхилень, асиметрій, ексцесів та коефіцієнтів кореляції;

LOC – обчислення індексу вектора в матриці, що зберігається вказаним способом;

MATRA – обернення кореляційної матриці.

### **3.2.2. Функціональне призначення програми**

Програма "NESTER" призначена для розрахунку кількісних оцінок якості виконання льотчиками петлі Нестерова.

Обмеження:

1. Не можна піддавати статистичній обробці сукупність реалізацій даного маневру, більша частина котрих виконана льотчиками низької кваліфікації (третього класу та без класу), тому що в цьому випадку математичні сподівання значень параметрів, які характеризують виконання петлі Нестерова та обрані в якості еталонних значень, будуть значно відрізнятися від еталонних значень цих параметрів, які вимагаються.

2. При використанні в якості еталону траєкторій, які отримані за методикою, що викладена в роботі [42], фони оформлюються у вигляді впорядкованого масиву даних, підготовленого до обробки статистичними підпрограмами.

3. В даній програмі в критерій оцінки якості виконання льотчиками петлі Нестерова входять 13 параметрів, котрі повністю характеризують виконання цієї фігури та підпорядковані нормальному закону розподілу. Вибір параметрів, які входять до критерію, їх загальної кількості здійснюється за методикою, що викладена в підрозділі 3.1.

Загальна структура програми може бути застосована для розрахунку кількісних оцінок якості виконання будь яких маневрів (бойовий розворот, спіраль, бочка, напівпетля та інші), а також для етапів злету та посадки, що не протирічить вимогам до програмного забезпечення [31].

### 3.2.3 Опис логічної структури програми

Метод розрахунку оцінок, які характеризують якість виконання петлі Нестерова викладені в розділі 3 та в [22, 46].

Запропонований критерій може бути використаний тоді, коли параметри, що входять до критерію оцінювання якості пілотування, розподілені за нормальним законом розподілу. Але не завжди це положення зберігається при замірюванні вихідних даних. Тому, скориставшись співвідношенням

$$T_{ij} = T_{1j} - T_{1i}$$

$$H_{ij} = H_{0j} - H_{0i}$$

$$V_{ij} = V_{0j} - V_{0i}$$

$$N_{ij} = N_{0j} - N_{0i}$$

Розширюємо кількість компонент вектору параметрів  $X$

$$X = |T, H, V, N|^T$$

Гіпотезу про нормальний закон розподілу параметрів перевіряємо аналітично за методикою, викладеною в розділі 3.1., використовуючи критерій узгодженості  $\chi^2$

Значення математичних сподівань, середньоквадратичних відхилень, ексцесу, асиметрії та коефіцієнтів кореляції розраховуються в підпрограмі STAT за

формулами:

1. Обчислення середніх

$$\bar{x}_j = \frac{\sum_{\alpha=1}^n x_{\alpha j}}{n}$$

Де  $j = \overline{1, m}$  – змінні;

$n$  – число невідсутніх величин для  $j$ -ї змінної.

2. Обчислення стандартних відхилень

$$S_j = \sqrt{\frac{S_{ji}}{n-1}},$$

$$\text{де } S_{ji} = \sum_{\alpha=1}^{\dot{n}} (x_{\alpha i} - \bar{x}_i)(x_{\alpha j} - \bar{x}_j) - \frac{\sum_{\alpha=1}^{\dot{n}} (x_{\alpha i} - \bar{x}_i) \sum_{\alpha=1}^{\dot{n}} (x_{\alpha j} - \bar{x}_j)}{\dot{n}}$$

$\dot{n}$  – номери рядів, де присутні обидві змінні;

$\bar{x}_i, \bar{x}_j$  – середні  $i$ -ї та  $j$ -ї змінних, які обчислені як вказано вище;

3. Обчислення моментів взаємної кореляції

$$r_{ij} = \frac{S_{ij}}{\sqrt{S_{ii}}\sqrt{S_{jj}}}$$

4. Обчислення асиметрії та ексцесу,  $S_j$  та  $K_j$

$$\text{Нехай } \mu_{ij} = \sum_{\alpha=1}^n (x_{\alpha j} - \bar{x}_j)^{\frac{1}{n}}$$

$$\text{тоді } S_j = \mu_{3j} / (\mu_{2j})^{3/2}$$

$$K_j = \left( \frac{\mu_{4j}}{\mu_{2j}^2} \right) - 3$$

Обернення кореляційної матриці  $K$  здійснюється за підпрограмою MATRA з використанням методу Гауса-Жордана [7].

Обчисливши значення:

$$X_t = |\sigma_{1t} - \bar{X}_1, \sigma_{2t} - \bar{X}_2, \dots, \sigma_{1n} - \bar{X}_n|^T$$

$$X_0 = \bar{X} - X;$$

$X = |x_1, x_2, \dots, x_n|^T$  - вектор поточних значень параметрів;

$\bar{X} = |\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n|^T$  - вектор математичних сподівань значень параметрів

$\sigma_i, i = \overline{1, n}$  – середньоквадратичні відхилення параметрів;

$n$  – кількість параметрів, які входять до критерію оцінки якості пілотування;  
 $t$  – величина відносного відхилення параметрів від математичного сподівання, що відображається у долях  $\sigma$ , та задаючи величини відносних відхилень  $t$ , визначаються бальні оцінки якості виконання льотчиками петлі Нестерова за формулою:

$$5 \text{ при } X_0^T K^{-1} X_0 \leq G(t_5)$$

$$4 \text{ при } G(t_5) < X_0^T K^{-1} X_0 \leq G(t_4)$$

$$3 \text{ при } G(t_4) < X_0^T K^{-1} X_0 \leq G(t_3)$$

$$2 \text{ при } G(t_3) < X_0^T K^{-1} X_0$$

$$\text{де } X_{t_i}^T K^{-1} X_{t_i} = G(t_i)$$

Програма "NESTER» в процесі функціонування виконує звернення до підпрограм:

FORMAT – до формування кореляційної матриці;

VECTOR – обчислення добутку виду  $X^T K^{-1} X$

SUB MAS – відбір з повного масиву даних спостережень підмасив тих спостережень, котрі задовольняють умовам невиходу значень параметрів за встановлені обмеження допусків;

STAT – обчислення середніх, стандартних відхилень, асиметрій, ексцесів та коефіцієнтів кореляції;

LOC – обчислення індексу вектору в матриці, що зберігається вказаним способом;

MATRA – обернення кореляційної матриці.

Опис масивів, які використовуються в програмі NESTER

A(40,78) – масив вихідних даних;

PEF (10) – масив параметрів, за якими оцінюється якість пілотування  
( $T, H, V, N$ );



GER (21) – масив індексів параметрів (01,02,...,06,12,13,...,56);  
S (40) - масив номерів реаліацій;  
TOTAL (78) – масив, якій вміщує чисельний код відсутності даних для кожної змінної;  
AVER (78) – масив математичних сподівань параметрів;  
SD (78) – масив середньоквадратичних відхилень параметрів;  
VMIN(78) – масив асиметрій розподілу параметрів;  
VMAX (78) – масив ексцесів розподілу параметрів;  
P1(78) – масив позначення параметрів, що дорівнює числу змінних;  
P2(78) – масив індексів параметрів, що дорівнює числу змінних;  
B (34,78) – скорегований масив вихідних даних;  
R (3003) – кореляційна матриця;  
NZ (3003) – масив номерів елементів, які входять в матрицюR;  
ARG (78,78) – масив коефіцієнтів регресії;  
BRG (78,78) – масив вільних членів регресії;  
SRG (78,78) –масив стандартних відхиленьBRG.  
Алгоритм програми NESTER приведено у додатках.

#### **3.2.4. Вхідні дані**

Вхідними даними є абсолютні значення параметрів  $T, H, V, N$ , які вимірювані в 6-ти характерних точка на траєкторії виконання петлі Нестерова. Аналізу піддано 40 реалізацій цієї фігури льотчиками подібної кваліфікації.

#### **3.2.5. Вихідні дані**

вихідними даними є:  
параметри, що входять до критерію оцінки;  
величини відносних відхилень;  
параметри меж оцінок;  
номери реалізацій;

бальна оцінка кожної реалізації

чисельні значення величини  $G(t)$  для кожної реалізації.

## ВИСНОВКИ

Основними висновками, отриманими в результаті досліджень, є наступні:

1. Існуючі методики оцінки рівня натренованості не використовують в повній мірі інформацію засобів об'єктивного контролю і не розкривають структуру процесів, що відбуваються в системі "льотчик - літальний апарат", внаслідок чого не дозволяють об'єктивно оцінити керуючу діяльність льотчика при виконанні фігур пілотажу.

2. Об'єктивність оцінки рівня натренованості може бути підвищена за допомогою її автоматизації, що в свою чергу вимагає формування критерію, що враховує не тільки точність витримування заданих параметрів польоту і точність керуючих впливів льотчика, але і динаміку зміни параметрів протягом траєкторії фігури.

3. Встановлено, що достатньо критичним статистичним методом дослідження інформативності параметрів польоту щодо якості пілотування літака льотчиком є кореляційний аналіз, основний зміст якого - формування моделі взаємного впливу параметрів на траєкторії фігури пілотажу і обчислення коефіцієнтів моделі. Результати застосування кореляційного аналізу дозволили виділити додаткові контрольні точки на траєкторії, оцінка параметрів в яких надає більш валідну оцінку якості пілотування літака льотчиком, та обрати доцільний варіант критерію оцінки, який пред'являє більш жорсткі вимоги до якості виконання фігури пілотажу.

4. Як часткові показники параметрів оцінки якості пілотування літака льотчиком обрані:

точність витримування нормального перевантаження;

точність витримування висоти польоту;

точність витримування швидкості польоту;

точність з'явлення по часу в контрольній точці на траєкторії польоту.

Показником точності при цьому є оцінка середньоквадратичного відхилення

від оцінки математичного очікування оцінюваних параметрів.

5. Показано, що критерій оцінки якості пілотування літака льотчиком в техніці пілотування може бути представлений у вигляді кортежу часткових показників якості. В якості еталонних значень параметрів в оцінюваних точках на траєкторії фігури використовуються їх математичні очікування, а в якості допусків на оцінки за чотирибальною системою – відхилення, кратні середньоквадратичним відхиленням від математичного очікування оцінюваних параметрів.

6. Методика автоматизованої оцінки якості пілотування літака льотчиком заснована на алгоритмі, що реалізується програмно на персональному комп'ютері, і дозволяє підвищити об'єктивність оцінки за рахунок використання критичних з точки зору безпеки польоту параметрів, що фіксуються засобами об'єктивного контролю. Це дозволяє реалізувати системний підхід до оцінки діяльності льотчика, що обумовлюється більш повною і детальною оцінкою за рахунок залучення до оцінки переліку параметрів польоту і управління, що характеризують практично всі сторони діяльності льотчика з пілотування літака. І, незважаючи на те, що число контрольованих параметрів не зросло, число контрольних точок зросло в 2-3 рази в порівнянні з існуючою методикою оцінки якості пілотування літака льотчиком за інформацією бортових засобів об'єктивного контролю. Крім того, досягається оперативність оцінки за рахунок можливості швидкого отримання інформації у вигляді бланка оперативного аналізу, що містить систему оцінок і перелік відхилень від заданих значень контрольованих параметрів, якщо такі були в процесі пілотування. При цьому виключається суб'єктивність в підході до оцінки, оскільки оцінка здійснюється за розробленими науково обґрунтованими алгоритмами на ЕОМ.

7. Методика може бути використана для контролю якості підготовки та визначення рівня навченості та натренованості курсантів та студентів ЗВО льотної професії. Запропонований критерій кількісної оцінки якості пілотування літака льотчиком може бути використано для оцінювання якості реалізації різних пілотажних та бойових маневрів. Для використання методики, викладеної вище,

необхідно мати пакет програм , що реалізують цей алгоритм, на комп'ютері фахівця, що проводить оцінювання, або інтегровані в бортові засоби об'єктивного контролю. Запропонований алгоритм не потребує значних обчислювальних ресурсів та може бути реалізований на персональному комп'ютері будь-якої складності.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев А. И. Формула надёжности: человек-самолёт-среда. 1993 г.
2. Автоматизированная обработка результатов измерений при летных испытаниях / под ред. Ю.Е. Махонькина. - М.: Машиностроение, 1983. - 112 с.
3. Балабанов А. А. Автореф. дис. канд. тех. наук, КВВАИУ, 1989 г.
4. Бендат, Дж. Прикладной анализ случайных данных: [пер. с англ.] / Дж. Бендат, А. Пирсол. - М.: Мир, 1989. - 540 с.
5. Бочаров, П.П. Теория вероятностей. Математическая статистика / П.П. Бочаров, А.В. Печинкин. - М.: Гардарика, 1998. - 328 с.
6. Бортничук В. А. Методика оценки уровня безопасной посадки маневренных самолётов в неблагоприятных метеоусловиях, -в сб. Обеспечение безопасности полётов, -М.: ВВИА им. Н. Е. Жуковского, 1991 г.
7. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. – 13-е изд., исправленное. – М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. – 544 с.
8. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей: учеб. для вузов / Е.С. Вентцель. - М.: Изд. центр «Академия», 2003. - 576 с.
9. Вучков, И.Н. Прикладной линейный регрессионный анализ / И.Н. Вучков, Л.Н. Бояджиева, Е.Б. Солаков / Пер. с болг. и предисл. Ю.П. Адлера - М.: Финансы и статистика, 1987. - 239 с.
10. Гладков, Б.М. Автоматизированная оценка натренированности летчиков с использованием показателей управляющих воздействий / Б.М. Гладков // Науч.-метод. материалы по проблемам обеспеч. безопасности полетов / Иркут. ВВАИУ. - Иркутск, 1991. - С. 73-79.
11. Гладков, Б.М. Автоматизированное распознавание фигур пилотажа при оценке и анализе выполненного полета / Б.М. Гладков // Науч.-метод. материалы по проблемам обеспеч. безопасности полетов / Иркут. ВВАИУ. - Иркутск, 1986. - С. 41 -45.

12. Гмурман, В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика / В.Е. Гмурман. - М.: Юрайт-Издат, Высшее образование, 2009. - 480 с.
13. Голубев, И.С. Эффективность воздушного транспорта / И.С. Голубев. - М.: Транспорт, 1982. - 452 с.
14. Горелик, А.Л. Методы распознавания / А.Л. Горелик, В.А. Скрипкин. - М.: Высшая школа, 1984. - 228 с.
15. Гуляев Б.А., Чаплыга В.М., Кедровский И.В. Методы и средства обработки диагностической информации в реальном времени. - К. Наукова думка. 1986.-224 с.
16. Дрейпер, Н. Прикладной регрессионный анализ: в двух книгах. Книга 1: [пер. с англ.] / Н. Дрейпер, Г. Смит. - 2-е издание, перераб. и доп. - М.:
17. Езекиел М., Фокс К. Методы анализа корреляций и регрессий линейных и криволинейных. -М.: Статистика, 1986 г.
18. Елисеева И. И. Статистические методы измерения связей / Под ред. А.А. Жигарева. -Л.: ЛГУ, 1992 г.
19. Єрмолаєв І.Р., Кулєшин В.В., Коцурєнко Ю.В. Метод етало́нних послідовностей при розпізнаванні фігур пілота́жу // Збірник наукових праць ДНДІА, 2006.– Випуск 2(9).–С. 69-72.
20. Жулёв В. И., Иванов В. С. Безопасность полётов летательных аппаратов. -М.: Транспорт, 1986 г.
21. Ивахненко, А.Г. Долгосрочное прогнозирование и управление сложными системами / А.Г Ивахненко. - Киев: Техника, 1975. - 248 с.
22. Каленик В.А., Устинов В.В. Автоматизированная оценка качества пилотирования самолёта лётчиком с использованием средств объективного контроля и ЭЦВМ. Материалы ІУ НТК училища. - Иркутск : ИВВАИУ, 1994.
23. Критерии оценки качества посадки самолётов по данным бортовых средств регистрации полётной информации. -М.: ГосНИИГА,1985 г.
24. Курс наземної і льотної підготовки курсантів на літаку Л-39 (КНЛП Л-39-2001). – Х.: Б. М., 2001. – 220 с.

25. Летчик как динамическая система / А.В.Ефремов, А.В. Оглоблин, А.Н. Предтеченский, В.В. Родченко. - М.: Машиностроение, 1992. - 336 с.
26. Литвинчук Н. И. Использование информации средств объективного контроля для непосредственного определения причин отклонений в параметрах полёта и ошибок лётчика. НММ по обеспечению безопасности полётов. -М,,: ВВИА им. Н. Е. Жуковского, 1984 г.
27. Лысенко, Г.Б. Системы регистрации для гражданской авиации / Г.Б. Лысенко // Аэрокосмический курьер. - 2008. - № 1(55). - С. 40-41.
28. Меерович Г.Ш. Авиационные тренажёры и безопасность полётов. / Г.Ш. Меерович, А.И. Годунов, О.К. Ермолов. / Под ред. Мееровича Г.Ш. - М.: Воздушный транспорт, 1990.-343с.
29. Молоканов Г. Ф. Объективный контроль точности самолётоводения. -М.: Воениздат, 1980 г.
30. Нелюбов, А.И. Динамика полета боевых летательных аппаратов / А.И. Нелюбов, А.А. Новад. - М.: ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 1992. - 436 с.
31. Никулин, А.С. Проектирование программного обеспечения компонентной архитектуры для перспективных авиационных комплексов / А.С. Никулин, А.П. Рогалев, Ю.Н. Кофанов // Информационные технологии в проектировании и производстве. - 2002. - № 2. - С. 88-96.
32. Огнев А. А. К вопросу о критериях экспресс оценки техники пилотирования пилотов ГА. -в сб. Авиационная эргономика. -К.: Киев, КНИГА, 1977 г., вып. 3.
33. Пономаренко В.А., Лапа В.В. Профессия – летчик: Психологические аспекты / Под ред. Ю.П. Доброленского. – М.: Воениздат, 1985. – 136 с.
34. Практическая аэродинамика маневренных самолётов. Под ред. Лысенко Н.М. -М.: Воениздат, 1977.
36. Прокофьев А.И., Карапетян Г.С. и др. Общие принципы построения комплексной системы контроля и анализа лётной деятельности экипажей самолётов гражданской авиации. "Итоги науки и техники. Воздушный



транспорт", т.9.44.:ВИНИТИ, 1981,с.41-62.

37. Пугачев В.С. Теория вероятностей и математическая статистика / В.С. Пугачёв - М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1979. 496с

38. Пустыльник Е. И. Статистические методы анализа и обработки наблюдений. -М.: Наука, 1978 г.

39. Румянцев Е.А., Аверкин А.Б. и др. Принципы и алгоритмы распознавания маневров и фигур пилотажа при экспресс-обработке полётных данных. Научно-методические материалы по проблемам автоматического контроля состояния авиационной техники. Под ред. Румянцева Е.А. - М.: ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 1976.

40. Севастьянов, Б.А. Курс теории вероятностей и математической статистики / Б.А. Севастьянов. - М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит-ры, 1982. - 256 с.

41. Система автоматизированной обработки информации "Луч-74". Методическое пособие под ред. Ерохина Г. Н. -М.: ВВИА им. Н. Е. Жуковского, 1988 г.

42. Стальников В.Л. Решение краевой вариационной задачи динамики полёта самолёта с изменяемой стреловидностью крыла. Научно-методические материалы. -М. :ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 1977.

43. Тараненко В. Т., Момджи В. Г. Прямой вариационный метод в краевых задачах динамики полёта. -М.: Машиностроение, 1986 г.

44. Тарасенков, А.М. Динамика полета и боевого маневрирования летательных аппаратов: учебн. для слушателей и курсантов инженерных ВВУЗов ВВС / А.М. Тарасенков, В.Т. Брага, В.Т. Тараненко. -М.: ВВИА, 1984. - 512 с.

45. Тихий И.И. Идентификация параметров динамической модели летчика по данным бортового устройства регистрации./ И.И.Тихий, В.В. Кашковский, Ю.Н. Шишкин // Вестник Томского Государственного университета, № 14 (И), 2005. С.297-301.

46. Тихий И.И. Оценка качества пилотирования в режиме полета по глиссаде

/ Тихий И.И., Кашковский В.В., Полуэктов С.П. // Науч. вестн. Моск. гос. технич. ун-та ГА - М.: - 2008.-№ 138(1). - С. 191-197.

47. Тихий И.И. Оценка качества управления сложными техническими объектами / Тихий И.И., Кашковский В.В., Полуэктов С.П. // Вестник Иркут. гос. тех. ун-та. - 2008. - Вып. 2 (34) - С. 37-41.

48. Устинов В.В., Старцева Л.П. Общие принципы построения автоматизированной системы контроля и анализа качества техники пилотирования самолета // Научно-методические материалы по обеспечению безопасности полетов, 1989.– Выпуск 1.– Х.: ХВВАИУ.–С. 28-33.

49. Ферстер, Э. Методы корреляционного и регрессионного анализа: руководство для экономистов / Э. Ферстер, Б. Ренц; пер. с нем. и предисл. В.М. Ивановой. -М.: Финансы и статистика, 1983. - 302 с.

50. Фомин Я.А, Тарловский Г.Р. Статистическая теория распознавания образов. - М.: Радио и связь, 1986.

51. Фролов,Н.И. Пути изучения работоспособности летчика в полете/ Н.И.Фролов / Космич. биология. - 1978. -№ 1. - С. 3-10.

52. Хамракулов И. В., Зубков Б. В. Эффективность использования полётной информации. -М.: Транспорт, 1991 г.

53. Характеристики качества программного обеспечения /Б.Боэм, Дж.Браун, Х.Каспар, М.Липов и др. - М.: Мир. 1981. - 206 с.

54. Хейс Д. Причинный анализ в статистических исследованиях. -М.: Финансы и статистика, 1981 г.

55. Хейфец, М.И. Обработка результатов испытаний: алгоритмы, номограммы, таблицы / М.И. Хейфец // Справочная библиотека авиационного инженера-испытателя. -М.: Машиностроение, 1988. - 168 с.

56. Чирков, П.А. О состоянии и проблемах повышения безопасности полетов / П.А.Чирков // Обеспечение безопасности полетов: науч.-метод. материалы / ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского. - М., 1992. - С. 35 - 43..

57. Шишкин Ю.Н. Идентификация параметров динамической модели

летчика по данным бортового устройства регистрации / Ю.Н. Шишкин, И.И. Тихий, В.В. Кашковский // Материалы XIII всерос. науч.-технич. конф. / Ир-кут. ВВАИУ. - Иркутск, 2005. - С. 232 - 235.

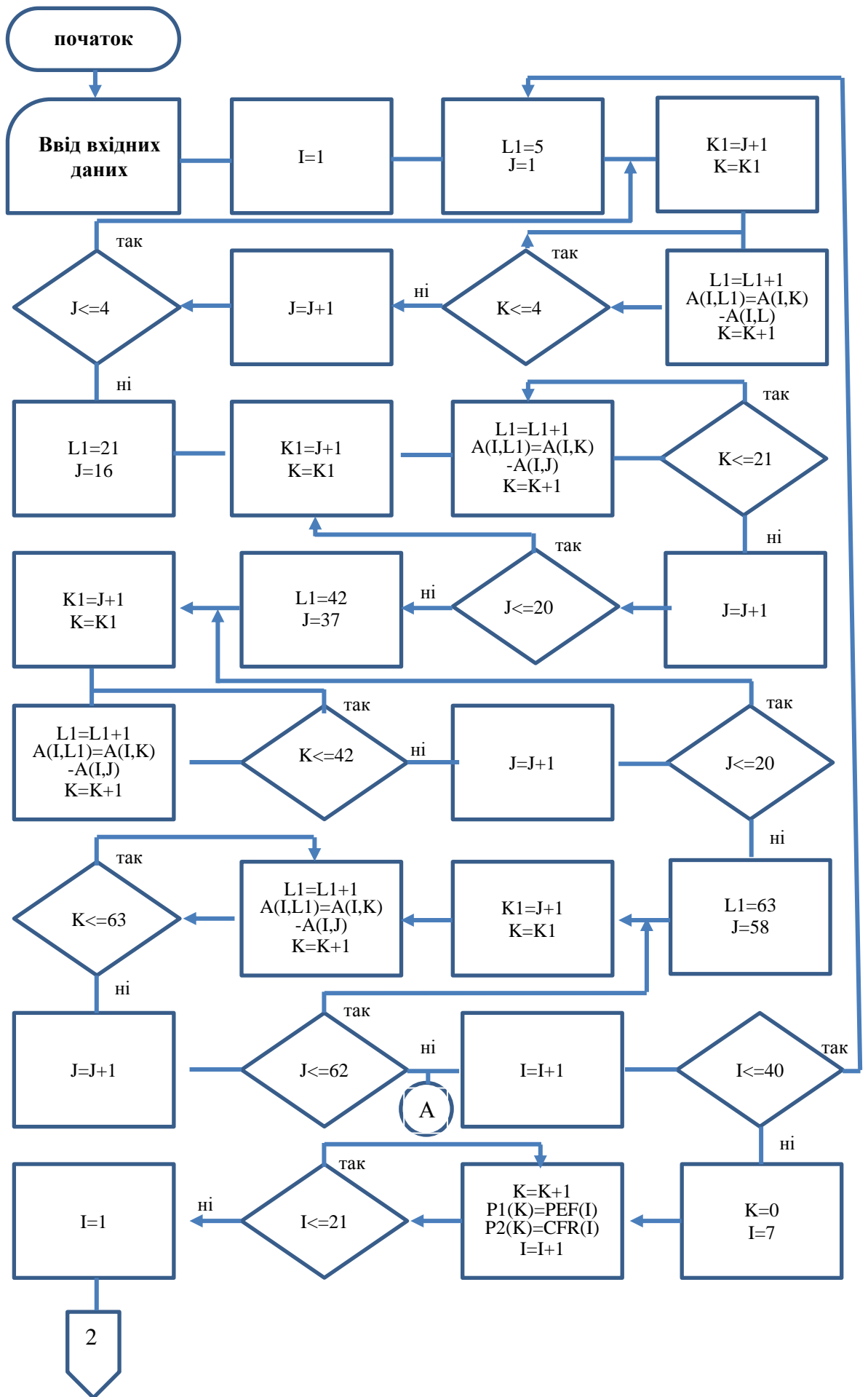
58. Эффективная транспортная система между орбитой и Землей // Астронавтика и ракетодинамика. 1984. № 14, С. 1-5.

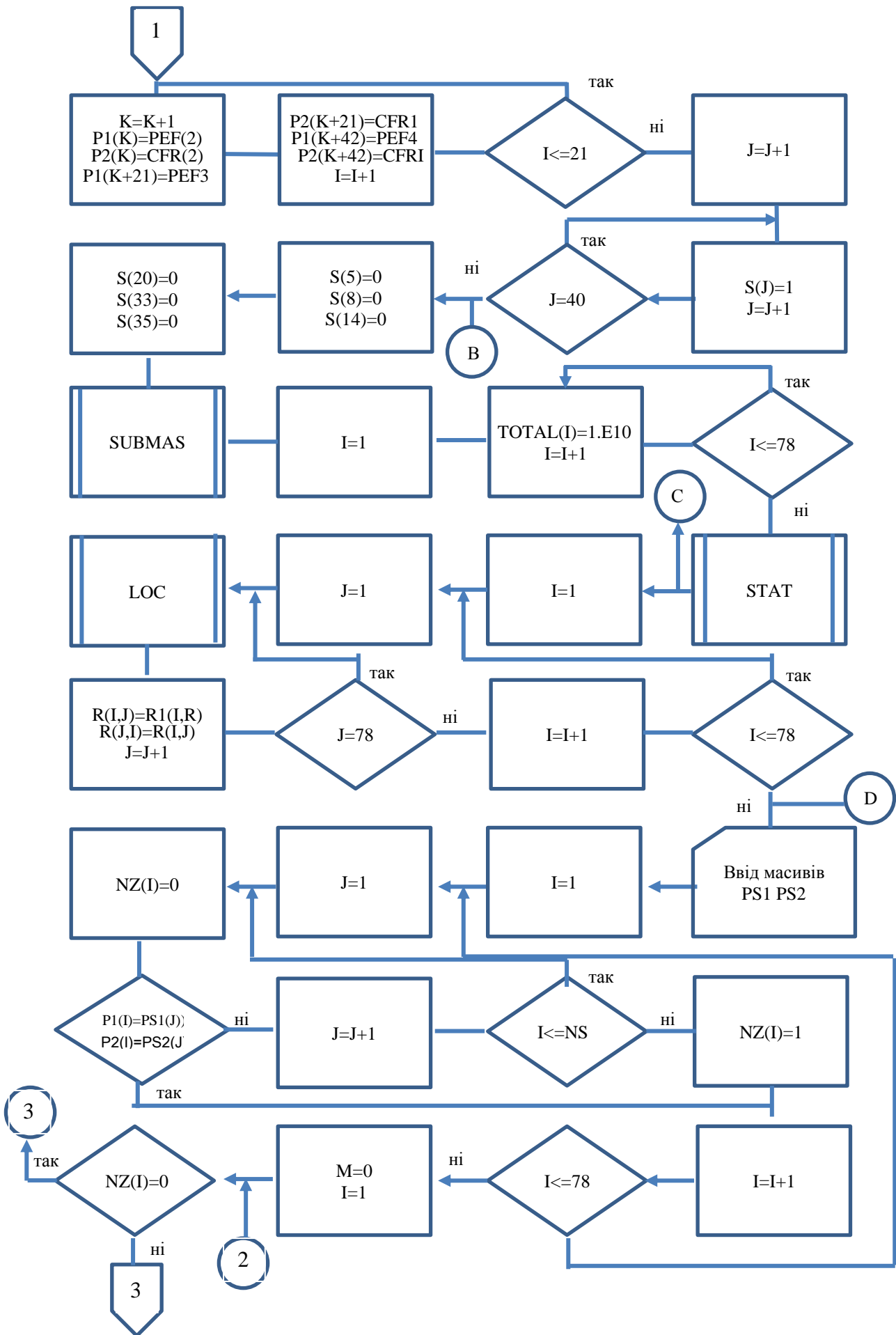
59. Pearson K. On the criterion that a given system of elevations from the probable in the case of a correlated system of variables in such that it can be reasonably supposed to have arisen from random sampling. —Phil. Mag., 1900, v. 50, 157—175.

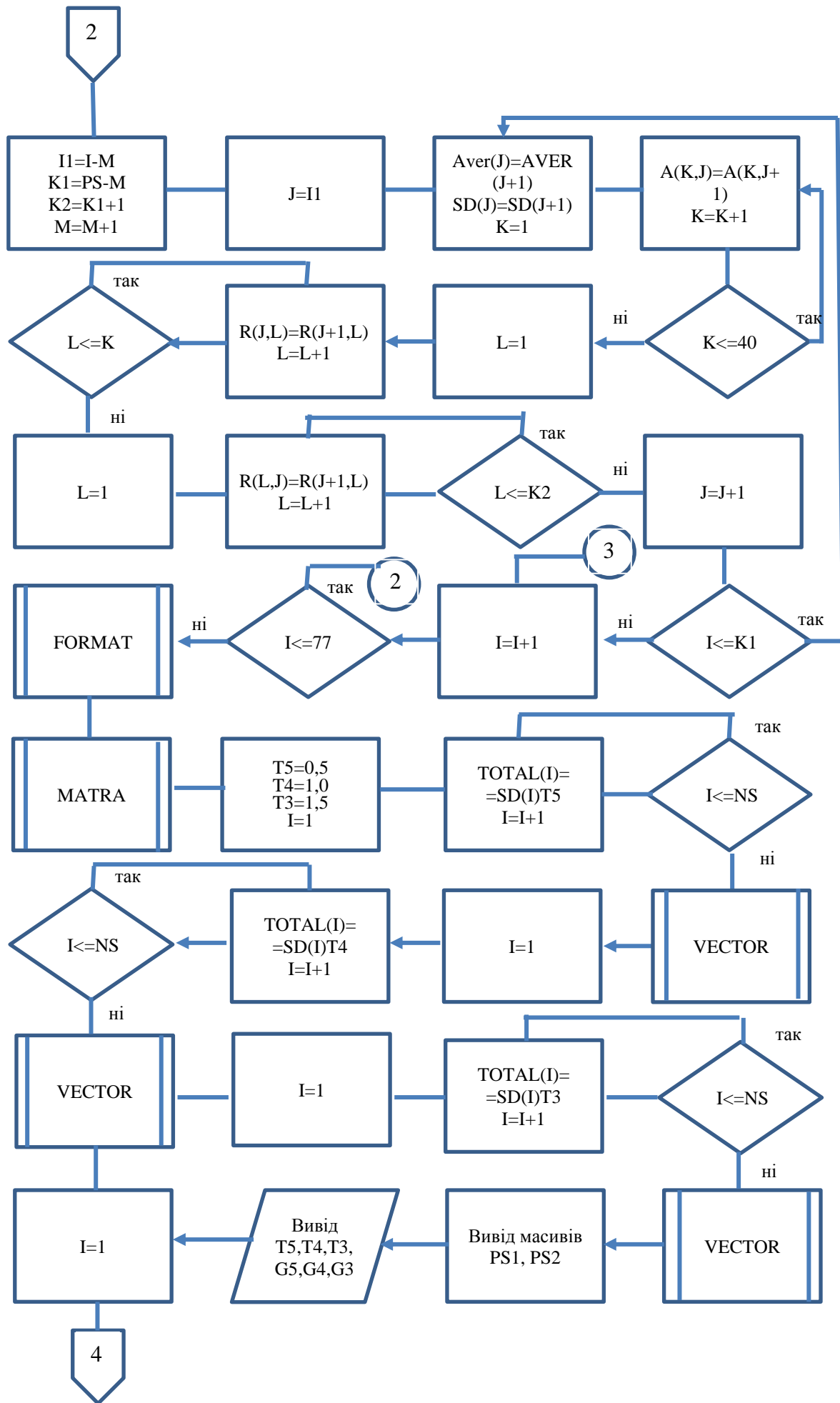
60. TSO-C124a. Flight data recorder systems. - 08-01-1996. - Washington: Department of Transportation: Federal Aviation Administration: Aircraft Certification Service, 1996.-4 p.

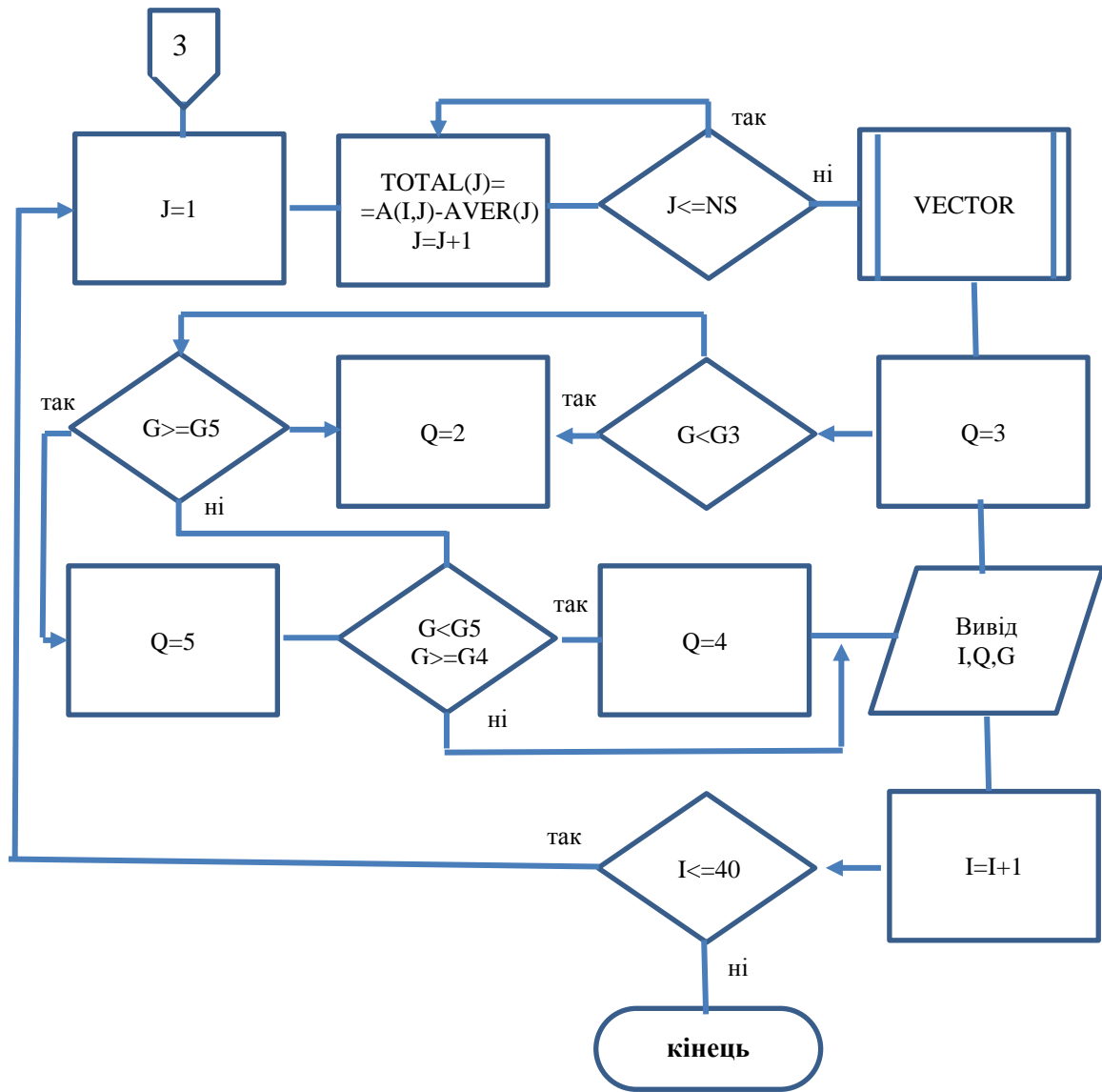
## ДОДАТКИ

Блок-схема програми NESTER

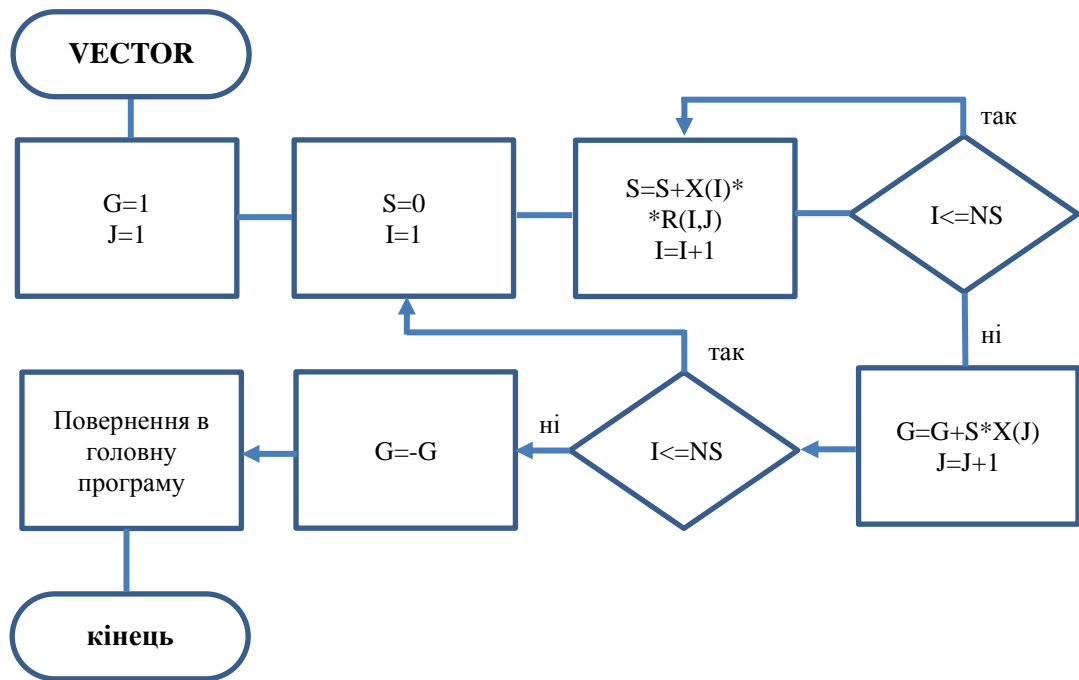


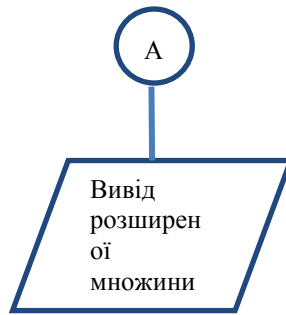




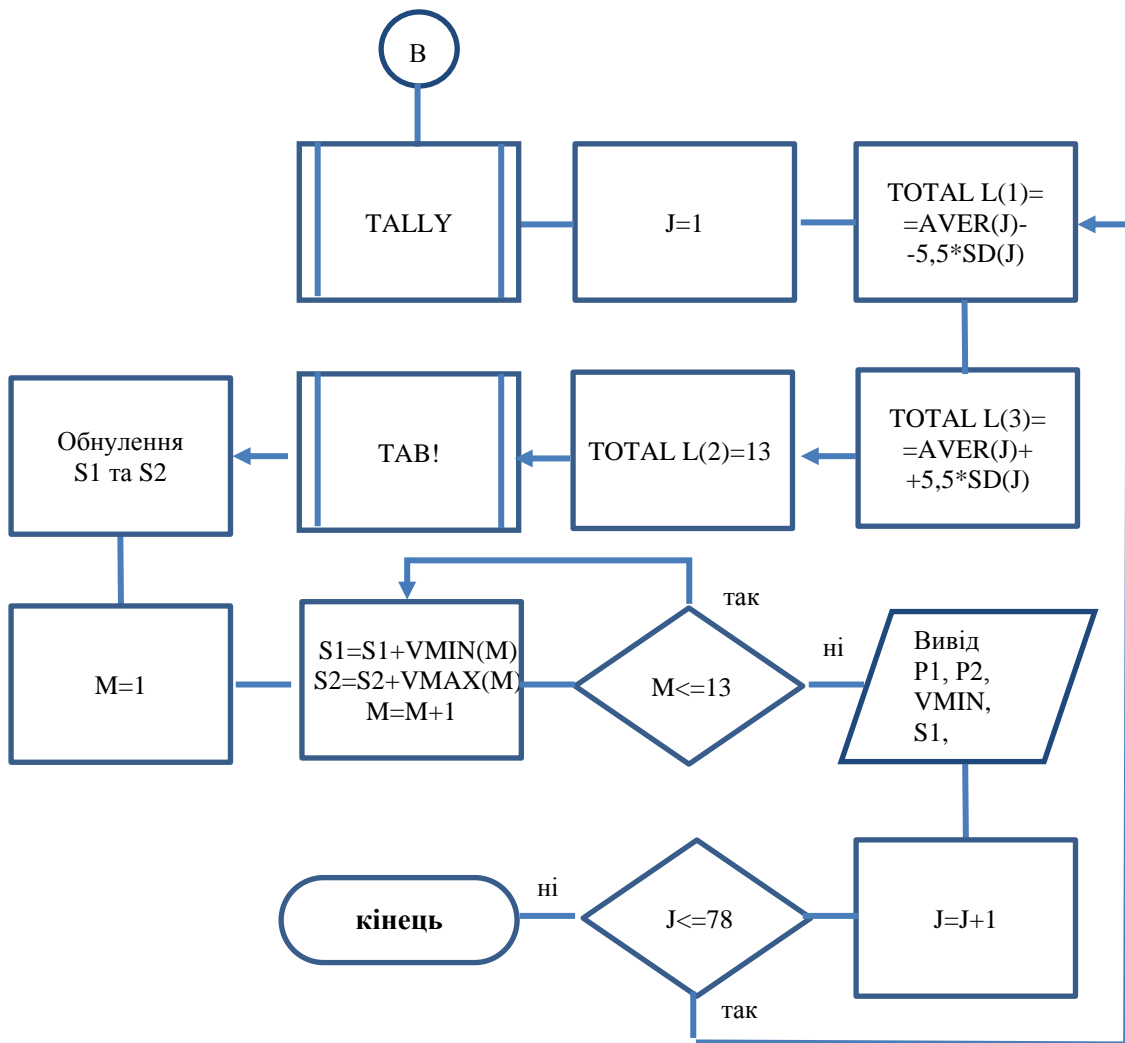




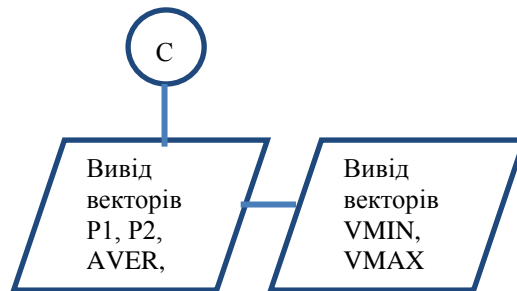




### Вивід гістограм розподілів



Вивід математичного сподівання, середньоквадратичного відхилення, ексцесу та асиметрії розподілу



Вивід кореляційної матриці

