

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

На правах рукопису

Остроумов Іван Вікторович

УДК 629.735.05 :519.226 (043.3)

**Багатоальтернативна класифікація польотних ситуацій при управлінні
повітряним рухом в умовах ризику**

Спеціальність 05.22.13 – "Навігація та управління рухом"

Дисертація на здобуття наукового ступеня

кандидата технічних наук

Науковий керівник

Харченко Володимир Петрович,

заслужений діяч науки і техніки,
лауреат Державної премії
України в галузі науки і техніки,
доктор технічних наук,
професор, проректор з наукової
роботи НАУ, завідувач кафедри
аеронавігаційних систем

Київ – 2009

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	5
ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1 СТАН БЕЗПЕКИ ПОЛЬОТІВ ТА АНАЛІЗ СИСТЕМ І МЕТОДІВ РОЗПІЗНАВАННЯ КЛАСІВ СИТУАЦІЙ.....	15
1.1 . Сучасний стан безпеки польотів.....	15
1.1.1 . Безпека польотів у авіаційно-транспортній системі	15
1.1.2 . Стан безпеки польотів у світі	18
1.1.3 . Аналіз стану безпеки польотів в Україні.....	21
1.2 . Виявлення і попередження конфліктних ситуацій між повітряними кораблями.....	24
1.2.1 . Застосування систем попередження зіткнень між повітряними кораблями.....	24
1.2.2 . Класифікація існуючих методів та систем попередження виникнення конфліктних ситуацій.....	25
1.3 . Багатоальтернативна класифікація ситуацій повітряного стану	29
1.3.1 . Фактори, які впливають на хід польоту.....	29
1.3.2 . Принципи множинної класифікації ситуацій	31
1.3.3 . Формування ситуацій в аеронавігаційній системі.....	33
1.4 . Аналіз методів розпізнавання класів ситуацій	35
1.4.1 . Принципи розпізнавання класів ситуацій	35
1.4.2 . Аналіз методів і систем розпізнавання класів ситуацій	37
1.4.3 . Байесівський підхід до класифікації	45
1.4.4 . Застосування послідовного багатоальтернативного аналізу для розпізнавання класу польотної ситуації	49
1.4.5 . Умовні щільності ймовірності класів ситуацій	52
1.5 . Постановка задач дослідження.....	54
Висновки	55

РОЗДІЛ 2 МЕТОД БАГАТОАЛЬТЕРНАТИВНОЇ КЛАСИФІКАЦІЇ СИТУАЦІЙ ПРИ НЕТОЧНО ВІДОМІЙ ЩІЛЬНОСТІ ЙМОВІРНОСТІ	57
2.1 . Суть методу	57
2.2 . Розпізнавання класу ситуації.....	59
2.3 . Вплив неточності завдання щільності розподілу на ймовірність правильного розпізнавання	61
2.4 . Наближений підрахунок ймовірності правильного розпізнавання класу ситуації за правилом Байєса	62
2.5 . Оцінка похибки визначення ймовірності правильного розпізнавання класу повітряної ситуації.....	64
2.6 . Вибір величини рівня довіри	80
Висновки	81
РОЗДІЛ 3 АДАПТАЦІЯ МЕТОДУ БАГАТОАЛЬТЕРНАТИВНОЇ КЛАСИФІКАЦІЇ ДО РОЗПІЗНАВАННЯ КЛАСУ НАЯВНОЇ ПОЛЬОТНОЇ СИТУАЦІЇ	82
3.1 . Побудова класів польотних ситуацій.....	82
3.2 . Щільність розподілу ймовірності відхилення повітряного корабля від заданої траєкторії руху.....	85
3.2.1 . Методи визначення розподілу ймовірності відхилення повітряного корабля від заданої траєкторії руху.....	85
3.2.2 . Статистичний підхід до визначення ймовірності відхилення.....	86
3.2.3 . Побудова розподілу ймовірності на основі даних барометричного висотоміра	87
3.2.4 . Розподіл ймовірності на основі даних точного радіолокатора	97
3.3 . Апріорні ймовірності класів польотних ситуацій	98
3.4 . Розрахунок параметрів апріорної умовної щільності класів.....	101
3.5 . Вибір оптимального обсягу основної і навчальної вибірок	102
Висновки	107

РОЗДІЛ 4 МОДЕЛЮВАННЯ БАГАТОАЛЬТЕРНАТИВНОЇ КЛАСИФІКАЦІЇ ДЛЯ РІЗНИХ РЕГІОНІВ ОПР	109
4.1 . Ймовірність відхилення повітряного корабля від заданого профілю польоту.....	109
4.1.1 . Реєстрація абсолютної висоти польоту	109
4.1.2 . Програмний комплекс розрахунку параметрів закону, що описує відхилення повітряного корабля від заданої висоти польоту	111
4.1.3 . Основні завдання програмного комплексу	112
4.1.4 . Опис функціональних можливостей програмного комплексу.....	113
4.1.5 . Визначення параметрів розподілу щільності ймовірності за допомогою спеціалізованого програмного комплексу	121
4.2 . Розрахунок параметрів, що характеризують класи повітряних ситуацій	124
4.2.1 . Розрахунок апріорних ймовірностей класів повітряних ситуацій..	125
4.2.2 . Розрахунок параметрів апріорних умовних щільностей класів.....	126
4.3 . Вибір оптимального обсягу основної і навчальної вибірок для різних зон ОПР.....	128
4.4 . Моделювання визначення класу повітряної ситуації та розрахунок ймовірності правильного розпізнавання для різних регіонів планети	133
Висновки	138
ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ ТА ВИСНОВКИ.....	140
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	142
<i>Додаток А. Розроблені алгоритми та програми</i>	<i>154</i>
<i>Додаток Б. Результати моделювання.....</i>	<i>163</i>
<i>Додаток В. Акти впровадження результатів дисертаційної роботи.....</i>	<i>170</i>
<i>та свідоцтва про реєстрацію авторського права на твір</i>	<i>170</i>

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

AI	Апріорна інформація
АНО	Аеронавігаційне обслуговування
АС	Аварійна ситуація
БАН	Блок алгоритмів навчання
БАР	Блок алгоритмів розпізнавання
БСПЗ	Бортова система попередження зіткнень
БУР	Бортовое устройство регистрации (бортовий пристрій реєстрації)
ГЛОНАСС	Глобальна супутникова радіонавігаційна система
ЗПС	Злітно-посадкова смуга
ИКВСП	Информационный комплекс высотно-скоростных параметров (інформаційний комплекс висотно-швидкісних параметрів)
КПР	Керування повітряним рухом
КС	Катастрофічна ситуація
НО	Навчальні об'єкти
НС	Нормальна ситуація
ОдС	Об'єкти для самонавчання
ОПР	Організація повітряного руху
ОЗП	Оперативно-запам'ятовуючий пристрій
ОС	Особлива ситуація
ПК	Повітряний корабель
ПКл	Правила класифікації
ПЗП	Постійно-запам'ятовуючий пристрій
РЛС	Радіолокаційна система
СПЗ	Система попередження зіткнень
СС	Складна ситуація
ТЗ	Технічні засоби

УУП	Ускладнення умов польоту
ФК	Формування класів
GPS	<i>Global positioning system</i> (Глобальна система визначення місцеположення)
ICAO	<i>International civil aviation organization</i> (Міжнародна організація цивільної авіації)
FL	<i>Flight level</i> (Ешелон польоту)
RVSM	<i>Reduced vertical separation minimum</i> (Скорочений мінімум вертикального ешелонування)
MATLAB	<i>Matrix laboratory</i> (назва спеціалізованого програмного забезпечення для комп'ютера, що використовується для моделювання фізичних процесів)

ВСТУП

Актуальність теми. Авіаційний транспорт є одним з найактуальніших транспортних засобів. Величезна кількість переваг зумовила його всебічне застосування у всьому світі. Обсяги пасажиро- та вантажоперевезень постійно зростають лавиноподібними темпами. За такого зростання попиту існуюча структура аеронавігаційного обслуговування (АНО), у зв'язку зі специфікою своєї побудови, у найближчому майбутньому не буде здатна забезпечити необхідні гарантії виконання безпечного польоту [72].

Такий стан викликає занепокоєння міжнародного авіаційного товариства, про що свідчить велика кількість запропонованих шляхів вдосконалення та розвитку АНО на майбутнє. Доцільними є пропозиції, що включають надання більшої самостійності авіакомпаніям у виборі оптимальних траєкторій та режимів польоту, що дозволить значно розвантажити існуючі авіапотоки та забезпечити економію часу перельоту. Подібні концепції для впровадження у життя потребують розробки нових, більш точних, навігаційних систем, здатних забезпечити суворе дотримання запланованої траєкторії руху ПК та навігаційних параметрів у заданих межах.

Дотримання запланованої траєкторії руху ПК на сьогоднішній день є однією з першочергових задач цивільної авіації [38, 59]. Попередньо узгоджені маршрути та траєкторії руху забезпечували б безконфліктний проліт ПК до пункту призначення. Проте, дотримання заданої траєкторії руху є досить складною задачею сьогодення.

На нормальний хід польоту [12] впливає велика кількість факторів, дію яких спрогнозувати та попередити досить проблематично, оскільки більшість з них має ймовірнісний характер. Крім того, навігаційному обладнанню притаманні похибки вимірювання. Дія цих факторів спонукає до необхідності контролю основних навігаційних параметрів з метою своєчасного попередження незапланованих відхилень за дозволеними межами, що може призвести до небажаних наслідків в умовах інтенсивного росту авіаперевезень.

Для дотримання заданого рівня безпеки доцільно класифікувати незаплановані відхилення навігаційних параметрів відповідно до ступеня небезпеки. Одним з найбільш перспективних напрямів сучасної теорії управління безпекою польотів є багатоальтернативна класифікація ситуацій, що дозволяє провести більш детальний аналіз стану [12, 87]. Розпізнавання наявної польотної ситуації на основі аналізу значень основних навігаційних параметрів ПК є вагомим засобом контролю за дотриманням безпеки руху ПК.

Для здійснення своєчасної і точної класифікації стану польотної ситуації ефективним є застосування ймовірнісних методів теорії розпізнавання на основі формули Байеса.

Практична сторона реалізації критерію Байеса потребує мінімальних апаратних затрат, завдяки чому досягається висока швидкість розпізнавання. Для виконання розрахунків необхідним є наявність умовної щільності класів ситуацій, характер залежності якої оцінюється за допомогою навчальної вибірки, отриманої за результатами попередніх вимірювань досліджуваного параметра [91, 99]. Використання оціненої умовної щільності впливає на процес класифікації і може стати причиною невірної розпізнавання.

Аналіз останніх досліджень в області багатоальтернативної класифікації ситуацій вказує на те, що значна частина ймовірнісних методів та алгоритмів на основі формули Байеса не враховує похибку оцінки ймовірності правильного розпізнавання, пов'язану з тим, що при розрахунку апостеріорних ймовірностей класів використовуються умовні щільності ймовірностей, оцінені за навчальною вибіркою [50]. Врахування цієї похибки підвищить точність розпізнавання та дозволить оцінити оптимальну кількість вимірювань досліджуваного параметра, необхідну для розпізнавання класу ситуації з максимально можливою ймовірністю.

Крім того, застосування формули Байеса потребує апріорної інформації щодо класів ситуацій, складність оцінки якої зумовлюється тим, що випадкові фактори, які діють на досліджувані параметри, є рідкісними подіями, для врахування яких необхідно використання специфічних математичних моделей.

Отже, з наведеного вище, постає актуальна науково-практична задача створення нового методу багатоальтернативної класифікації на основі теорії Байеса та його застосування для розпізнавання стану польотних ситуацій. Крім того, новий метод повинен враховувати в якості апіорної інформації записи досліджуваних параметрів попередніх польотів для більш точного врахування характеру відхилення та похибку оцінки ймовірності правильної класифікації, що дозволить забезпечити оптимальний рівень розпізнавання стану польотної ситуації.

Розробка нового підходу до класифікації величини відхилення дозволить прискорити перехід до нових концепцій побудови повітряного простору.

Зв'язок роботи з науковими програмами, темами. Робота виконана в рамках фундаментальних науково-дослідних робіт: шифр 147ДБ–04 – тема "Розробка методів та алгоритмів розпізнавання конфліктних ситуацій у розподілених системах управління динамічними об'єктами" (номер держреєстрації 0104U003744), шифр 493ДБ–08 – тема "Теоретичні засади багатоальтернативного ситуаційного моделювання та оцінки ризиків в соціотехнічних системах" (номер держреєстрації 0108U004004).

Мета роботи. Метою роботи є створення і адаптація математичного методу багатоальтернативної класифікації польотних ситуацій при їх неточно відомій щільності ймовірностей.

Для досягнення мети роботи поставлено та розв'язано такі ієрархічно взаємопов'язані завдання:

- аналіз стану безпеки польотів та наявних систем попередження конфліктних ситуацій, а також методів розпізнавання класу ситуації;
- розроблення ймовірнісного методу багатоальтернативної класифікації ситуацій за неточно відомої щільності ймовірності;
- адаптація методу багатоальтернативної класифікації до розпізнавання класу наявної повітряної ситуації;

– верифікація розроблених методик та методу шляхом комп'ютерного моделювання.

Об'єктом дослідження є аеронавігаційна система соціотехнічного типу з інтегрованими компонентами.

Предметом дослідження є метод і алгоритми розпізнавання класу наявної повітряної ситуації та оцінки умовної щільності розподілу ймовірності відхилення ПК від заданої траєкторії руху у аеронавігаційній системі.

Методи дослідження. В дисертаційній роботі використані методи математичного аналізу, теорії ймовірностей, імітаційного та комп'ютерного моделювання.

Наукова новизна одержаних результатів.

Розроблено новий математичний метод багатоальтернативної класифікації ситуацій, що враховує неточно відомі щільності ймовірності та забезпечує оптимальний рівень розпізнавання.

Уперше отримано математичну залежність для оцінювання максимальної величини похибки розрахунку ймовірності правильного розпізнавання класів ситуації, що є наслідком використання умовних щільностей ймовірностей, оцінених за навчальною вибіркою.

Запропоновано багатоальтернативну модель побудови класів повітряних ситуацій, яка дає можливість використовувати як щільність ймовірності відхилення ПК від заданої висоти польоту закони зі зміщеним середнім значенням, що дозволить розпізнавати наявний клас ситуації з більшою вірогідністю.

Розроблено нову методику розрахунку невідомих параметрів щільності ймовірності відхилення ПК від заданої траєкторії руху на основі записів попередніх польотів, виконаних бортовою апаратурою реєстрації.

Практичне значення одержаних результатів. Основні результати роботи становлять науково-методологічну основу для створення новітніх автоматизованих систем сигналізації, попередження та розв'язання

конфліктних ситуацій, систем обробки польотної інформації та керування повітряним рухом в умовах переходу до нових концепцій виконання польотів та дозволяють розв'язувати такі завдання:

– за рахунок урахування похибки, пов'язаної з тим, що умовні щільності ймовірностей відомі неточно, у процесі класифікації отримується більш точне значення ймовірності правильного розпізнавання порівняно з наявними методами класифікації;

– застосування розробленого методу багатоальтернативної класифікації ситуацій за неточно відомої щільності ймовірності забезпечує оптимальний рівень розпізнавання, що підвищує безпеку систем аеронавігаційного обслуговування;

– своєчасно оцінювати клас наявної польотної ситуації для завчасного попередження розвитку можливої конфліктної ситуації шляхом стеження за відхиленням навігаційних параметрів від заданих значень;

– надавати ймовірність правильного розпізнавання класу наявної повітряної ситуації для подальшого розрахунку ризиків.

Розроблено алгоритмічно-програмний комплекс моделювання багатоальтернативної класифікації польотних ситуацій при управлінні повітряним рухом.

Створений спеціалізований програмний комплекс дозволяє визначати за записами бортової апаратури реєстрації необхідні невідомі параметри щільності ймовірності відхилення конкретного ПК від заданої висоти польоту для оцінювання ймовірнісних характеристик.

Результати досліджень упроваджено в Управлінні аеронавігації та в Управлінні незалежного розслідування авіаційних подій Державіаадміністрації, в авіакомпанії «Авіаоптім» та в навчальному процесі університету, що підтверджено відповідними актами впровадження.

Особистий внесок здобувача. Дисертаційна робота є результатом самостійних досліджень. В роботах, виконаних у співавторстві та особисто автором:

у [1] – розроблено алгоритм моделювання методу багатоальтернативної класифікації ситуацій при неточно відомій щільності ймовірності та розроблено спеціалізований програмний комплекс;

у [2, 81] – розроблено програмне забезпечення для статистичного аналізу результатів записів абсолютної висоти польоту літака;

у [44] – наведено методику оцінки ймовірності вірного розпізнавання за критерієм Байеса за неточно відомою щільності ймовірності;

у [45, 46] – представлено переваги застосування критерію Байеса для розпізнавання класу наявної повітряної ситуації в аеронавігаційній системі;

у [47] – запропоновано структурну схему алгоритму оцінки ймовірності правильного розпізнавання класу повітряної ситуації за неточно відомою щільності розподілу ймовірності;

у [48] – розроблено методику оцінки ймовірності відхилення повітряного корабля до певної зони повітряного простору;

у [49, 51] – проведено аналіз основних проблем, що виникають під час використання бортової системи попередження зіткнень ПК, вказані основні її недоліки;

у [50] – виведено залежність для оцінки максимальної величини похибки розрахунку ймовірності правильного розпізнавання за формулою Байеса;

у [67] – виконано аналіз стану безпеки повітряного руху, виділені основні причини, що призводять до зростання кількості серйозних інцидентів та авіакатастроф;

у [80] – розроблено методику багатопараметричної класифікації польотної ситуації;

у [82] – наведена методика розрахунку оптимальної кількості вимірювань, що є необхідною для розпізнавання класу повітряного стану в умовах багатоальтернативної класифікації. Представлена методика розрахунку

максимальної ймовірності правильного розпізнавання при неточно відомій умовній щільності. Наведено приклад розрахунку для п'ятикласової моделі;

у [83] – представлена методика побудови щільності ймовірності відхилення ПК від заданої висоти польоту. У якості розподілу використано суму двох розподілів Лапласа у загальному вигляді;

у [104] – наведено дев'яти-зоновий поділ простору навколо заданої висоти польоту, вказано на доречність застосування дев'яти-класової класифікації відхилень.

Апробація результатів дисертації. Результати роботи обговорювалися на: Науково-практичній конференції «Проблеми підтримки та контролю державою експорту продукції наукоємного виробництва» (Гостомель, 5-й Міжнародний авіакосмічний салон «Авіасвіт - XXI», 2006), Міжнародній науково-технічній конференції «АВІА-2007» та «АВІА-2006» (Київ, НАУ), Міжнародних науково-технічних конференціях студентів та молодих вчених «Політ-2008», «Політ-2007», «Політ-2006», «Політ-2004» (Київ, НАУ).

Публікації. Основний зміст дисертації опубліковано в 16 друкованих працях: 9 статтях у збірниках фахових наукових праць, 3 тезах доповідей, 2 матеріалах конференцій та 2 свідоцтвах про реєстрацію авторського права на твір.

Структура роботи. Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг роботи становить 153 сторінки, ілюстрованих 61 рисунком та 12 таблицями. Список використаних джерел містить 117 найменувань на 12 сторінках.

У вступі сформульовані задачі дослідження, обґрунтована актуальність та визначена мета роботи і коло розв'язуваних задач, відзначена практична спрямованість, наукова новизна, описана структура роботи і коротко викладений зміст її розділів.

У першому розділі (стор. 15 - 56) здійснено аналіз стану безпеки повітряного руху, наведено основні принципи багатоальтернативної

класифікації та виконано аналіз методів і систем розпізнавання класів на основі чого сформульовані основні завдання дослідження.

В другому розділі (стор. 57 - 81) розроблено метод багатоальтернативної класифікації ситуацій при неточно відомій умовній щільності, встановлені основні залежності для розрахунку ймовірності правильного вибору з урахуванням відповідної похибки.

У третьому розділі (стор. 82 - 108) виконано адаптацію методу багатоальтернативної класифікації повітряного стану, наведені методики та алгоритми розрахунку вихідних даних.

У четвертому розділі (стор. 109 - 139) проведено верифікацію розроблених алгоритмів шляхом проведення комп'ютерного моделювання процесу розпізнавання класу наявної повітряної ситуації за розробленим методом.

У висновку (стор. 140) представлені основні результати роботи.

У додатку А наведено розгорнуті схеми алгоритмів, пояснюючі роботу розроблених методик та методу, наведено тексти програм на мові математичного моделювання MATLAB, що реалізують розроблений метод класифікації.

У додатку Б представлені результати роботи програми моделювання відхилення ПК від заданої траєкторії руху для різних регіонів планети.

До додатку В включені акти впровадження результатів дисертаційної роботи та свідоцтва про реєстрацію авторського права на твір.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. А. С. 25804 України. Комп'ютерна програма «Алгоритмічно-програмний комплекс моделювання багатоальтернативної класифікації польотних ситуацій при управлінні повітряним рухом» / І. В. Остроумов, В. П. Харченко. – заявка від 16.07.08; опубл. 24.09.08.
2. А. С. 25817 України. Комп'ютерна програма статистичного аналізу результатів записів абсолютної висоти польоту літака / І. В. Остроумов, В. П. Харченко. – заявка від 16.07.08; опубл. 24.09.08.
3. Айвазян С. А. Прикладная статистика: Основы моделирования и первичная обработка данных / С. А. Айвазян, И. С. Енюков, Л. Д. Мешалкин. – М.: Финансы и статистика, 1983. – 471 с.
4. Алешин Б. Ориентация и навигация подвижных объектов / Алешин Б., Афонин А., Времеенко К. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 424 с.
5. Анализ состояния аварийности в гражданской авиации Украины за период 1998-2007 годы / Госавиаадминистрация. – К., 2008. – 80 с.
6. Аналіз рівня безпеки польотів та виявлення потенційних факторів аварійності з цивільними повітряними судами України за 2007 рік / [авт. тексту В. А. Швець]. – К.: Державна авіаційна адміністрація, 2008. – 99 с.
7. Аналіз стану безпеки польотів за 2005 рік у порівнянні з 2004 роком / Державна служба України з нагляду за забезпеченням безпеки авіації (ДЕРЖАВІАСЛУЖБА), Департамент інспектування безпеки польотів, 03.02.06 № 25.5-21/12. – 23 с.
8. Аналіз стану безпеки польотів за 2007 рік у порівнянні з 2006 роком // Державна служба України з нагляду за забезпеченням безпеки авіації (ДЕРЖАВІАСЛУЖБА), Департамент інспектування безпеки польотів, 03.02.08 № 25.5-08. – 23 с.
9. Андронов А. М. Теория вероятностей и математическая статистика: [Учебник для вузов] / Андронов А. М., Копытов Е. А., Гринглаз Л. Я. – СПб.: Питер, 2004. – 461 с.

10. Бабак В. П. Статистична обробка даних / Бабак В. П., Білецький А. Я., Приставка О. П. – К.: МІВВЦ, 2001. – 388 с.
11. Бахвалов Н. С. Численные методы / Н. С. Бахвалов, Н. П. Жидков, Г. М. Кобельков. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2003. – 632 с.
12. Безпека авіації / [В. П. Бабак, В. П. Харченко, В. О. Максимов та ін.]. – К.: Техніка, 2004. – 584 с.
13. Білецький А. Я. Принципи побудови ситуаційних моделей системи керування повітряним рухом / А. Я. Білецький, Д. О. Корчунов, В. П. Харченко // Вісник НАУ. – 2000. – №3-4. С. 255-260.
14. Боровков Л. Л. Математическая статистика / Л. Л. Боровков. – М.: Наука, 1984. – 472 с.
15. Бочаров П. П. Теория вероятностей. Математическая статистика / П. П. Бочаров, А. В. Печинкин. – М.: Гардарики, 1998. – 328 с.
16. Вальд А. Последовательный анализ / А. Вальд. – М.: Физматгиз, 1960. – 328 с.
17. Вапник В. Н. Теория распознавания образов / В. Н. Вапник, А. Я. Червоненкис. – М.: Наука, 1974. – 415 с.
18. Васильев В. И. Распознающие системы : Справочник. / В. И. Васильев. – Киев: Наукова Думка, 1969. – 292 с.
19. Вентцель Е. С. Теория вероятностей: [учеб. для вузов] / Е. С. Вентцель. – [5-е изд.]. – М.: Высш. Шк., 1998. – 578 с.
20. Воздушная навигация: [справочник]. – Москва: Транспорт, 1988. – 303 с.
21. Воронцов К. В. О комбинаторном подходе к оценке качества обучения алгоритмов / К. В. Воронцов // 11-я Всероссийская конференция Математические методы распознавания образов (ММРО-11). – Москва, 2003. – С. 47-48.
22. Гагарин Ю. Е. Последовательный алгоритм распознавания объектов при стохастических исходных данных / Ю. Е. Гагарин // 11-я Всероссийская конференция Математические методы распознавания образов (ММРО-11). – Москва, 2003. – С. 49-51.

23. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика: [учеб. пособие для вузов] / В. Е. Гмурман. – [5-е изд.]. – М.: Высш. школа, 1977. – 479 с.
24. Горелик А. Л. Методы распознавания / А. Л. Горелик, В. А. Скрипкин. – Москва: Вища школа, 1989. – 232 с.
25. Горелик А. Л. Построение систем распознавания / А. Л. Горелик, В. А. Скрипкин. – М.: Сов.Радио, 1974. – 120 с.
26. Горяинов В. Т. Статистическая радиотехника. Примеры и задачи: [учеб. пособие для вузов] / [Горяинов В. Т., Журавлёв А. Г., Тихонов В. И.] : под ред. В. И. Тихонова. – [2-е изд.]. – М.: Сов. радио, 1980. – 544 с.
27. Гофманн-Велленгоф Б. Навігація. Основи визначення місцеположення та скеровування / Б. Гофманн-Велленгоф, К. Легат, М. Візер: [пер. з англ. за ред. Я. С. Яцківа]. – Львів: Львівський національний університет імені Івана Франка, 2006. – 443 с.
28. Гренадёр У. Лекции по теории образов. Синтез образов. Т.1 / У. Гренадёр: [перев. с англ. Гуревича И., Дадашева Т.; под ред. Ю. Журавлёва]. – М.: Мир, 1979. – 382 с.
29. Дуда Р. Распознавание образов и анализ сцен / Р. Дуда, П. Харт: [перев. с англ. Вайнштейна Г. Г., Васьковского А. М.; под ред. В. Л. Стефанюка]. – М.: Мир, 1976. – 507 с.
30. Дьяконов В. П. MATLAB 6.5 SP/7 + Simulink 5/6. Основы применения. / В. П. Дьяконов. – М.: СОЛОН-Пресс, 2005. – 800с. – (Серия «Библиотека профессионала»).
31. Ермаков С. М. Метод Монте-Карло и смежные вопросы / С. М. Ермаков. – М.: Наука, 1975. – 471 с.
32. Журавлев Ю.И. Распознавание. Классификация. Прогноз. В.2 / Ю. И. Журавлев. – М.: Наука, 1989. – 72 с.
33. Загоруйко Н. Г. Методы распознавания и их применение / Н. Г. Загоруйко. – М.: Сов.Радио, 1972. – 206 с.

34. Загора С. А. Аналіз методів розв'язання конфліктних ситуацій в умовах вільного польоту / С. А. Загора // Вісник НАУ. – 2005. – №1. – С.42-47.
35. Закс Ш. Теория статистических выводов / Ш. Закс: [перевод с англ. Е. В. Чепурина]. – М.: Мир, 1975. – 776 с.
36. Кендалл М. Теория распределений / М. Кендалл, А. Стьюарт; [пер. с англ. В. В. Сазонова, А. Н. Ширяева: под ред. А. Н. Колмоорова]. – М.: Наука, 1966. – 587 с.
37. Кузин Л. Т. Основы кибернетики: [учебное пособ.] / Л. Т. Кузин. – М.: Энергия, 1979. – Т.2. – 584 с.
38. Международная организация гражданской авиации. Группа экспертов по рассмотрению общей концепции эшелонирования. Совещание (6; 1988). Doc 9536, RGCSPP/6 TOM 1. Доклад: Монреаль, 28 ноября – 15 декабря 1988 г. Т. 1/ИКАО. – Монреаль, 1988. – 270 с.
39. Международная организация гражданской авиации. Группа экспертов по рассмотрению общей концепции эшелонирования. Совещание (6; 1988). Doc 9536, RGCSPP/6 TOM 2. Доклад: Монреаль, 28 ноября – 15 декабря 1988 г. Т. 2/ИКАО. – Монреаль, 1988. – 672 с.
40. Международные стандарты и рекомендуемая практика. Авиационная электросвязь: Приложение № 10 к конвенции о международной гражданской авиации. Том IV. Системы обзорной радиолокации и предупреждений столкновений. – ИКАО, 1995. – 208 с.
41. Мишарин И. В. Обработка и анализ полётной информации программно-аппаратным комплексом (шифр «Монстр») / И. В. Мишарин, Г. И. Непорожний. – Киев: НАУ, 2007. – 160 с. – (конспект лекций. Практикум для студентов по направлению 6.050101 специальности «Компьютерные науки», а также для авиационных специалистов в чьи функции входит обработка и анализ полётной информации).
42. Мэтьюз Джон Численные методы. Использование MATLAB / Джон Мэтьюз, Г. Финк, Д. Куртис. – [3-е издание]. – М.: Вильямс, 2001. – 720 с.

43. Национальный план для систем CNS/ATM. Инструктивный материал. Циркуляр 278-AN164. – Канада, Монреаль, 2000. – 174 с.
44. Остроумов И. В. Оценка вероятности правильного распознавания по правилу Байеса при неточно известной плотности распределения / И. В. Остроумов, А. Г. Кукуш, В. П. Харченко // Известия высших учебных заведений. Радиоэлектроника. – 2007. – Т. 50, № 11. – С. 60–68.
45. Остроумов І. В. Класифікація повітряного стану за критерієм Байеса / І. В. Остроумов // Політ-2008 : міжнародна наукова конференція студентів та молодих вчених, 10-11 квітня 2008 р. : тези доп. – К., 2008. – С. 136.
46. Остроумов І. В. Багатоальтернативна класифікація ситуацій повітряного стану як засіб підвищення безпеки повітряного руху / І. В. Остроумов // Політ-2007 : міжнародна наукова конференція студентів та молодих вчених, 12-13 квітня 2007 р. : тези доп. – К., 2007. – С. 92.
47. Остроумов І. В. Багатоальтернативна класифікація ситуацій повітряного стану у разі, коли щільності розподілу ймовірності відомі неточно / І. В. Остроумов, О. Г. Кукуш, В. П. Харченко // Вісник НАУ. – 2007. – Т. 31, № 1. – С. 73–77.
48. Остроумов І. В. Методика оцінки ймовірності відхилення літака при багатоальтернативній класифікації ситуацій повітряного руху / І. В. Остроумов, В. П. Харченко // Проблеми інформатизації та управління. – 2008. – № 4 (22). – С. 72–77.
49. Остроумов І. В. Недосконалість систем відображення повітряної обстановки навколо літака / І. В. Остроумов // АВІА-2006 : міжнародна науково-технічна конференція, 25-27 вересня 2006 р. : матеріали конференції. – К., 2006. – С. 21.29–21.32.
50. Остроумов І. В. Похибка при обчисленні ймовірності правильного розпізнавання класу повітряної ситуації / І. В. Остроумов, О. Г. Кукуш // АВІА-2007 : міжнародна науково-технічна конференція, 25-27 квітня 2007р. : матеріали конференції. – К., 2007. – С. 21.5–21.9.

51. Остроумов І. В. Проблеми використання наукоємних технологій у системах запобігання зіткнень повітряних кораблів / І. В. Остроумов // Технологические системы. – 2006. – Т. 35, № 3. – С. 35–38.
52. Офіційний сайт ДП «УкрАероРух». – режим доступу: <http://www.ukraeroruh.com.ua>.
53. Патрик Э. А. Основы теории распознавания образов / Эдвард А. Патрик : [перев. с англ. Баронкина В. М., Смиренина Б. А., Шинакова Ю. С.; под ред. Б. Р. Левина]. – М.: Советское радио, 1980. – 407 с.
54. Перов А. И. ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования / А. И. Перов, В. Н. Харисов. – [3-е изд.]. – М.: Радиотехника, 2005. – 688 с.
55. Поправка 76 К к приложению 10 Авиационная электросвязь : 2380-й доклад совету председателя Аэронавигационной комиссии. 162-я сессия совета. – ИКАО, 2001, – 378 с.
56. Правила полётов и обслуживание воздушного движения. Правила аэронавигационного обслуживания. DOC 4444 – RAC / 501 / 12. – М.: МОГА, 1985. – 290 с.
57. Правила радіолокаційного обслуговування / Державний департамент авіаційного транспорту. – К.: Міністерство транспорту України. – 63 с.
58. Приборное оборудование самолета Ан-140-100. Обработка и анализ полетной информации / [подготовил З. И. Иодковский]. – Харьков: Харьковское государственное авиационное производственное предприятие, 2004. – 60 с. – (Обучение летного и инженерно-технического состава на самолет АН-140-100).
59. Применение БСПС II в условиях европейского воздушного пространства. Программа ЕВРОКОНТРОЛЯ по БСПЗ – Проект «АСТОР», 21 августа 2001 г./ ЕВРОКОНТРОЛЬ. – Офиц. изд. – 2001. – 43 с.
60. Про введення в дію системи вертикального ешелонування ІКАО. Наказ Міністерства транспорту України, Міністерства оборони України від 13 липня 2001 року N 441/241. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 1 серпня 2001 р. за N 653/5844.

61. Пугачёв В. С. Теория вероятности и математическая статистика: учеб. пособие / В. С. Пугачёв. – [2-е изд.]. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. – 496 с.
62. Радиоэлектронное оборудование самолета АН-140-100. Аппаратура спутниковой навигации СН-3301 / [подготовил А. Т. Ломакин]. – Харьков: Харьковское государственное авиационное производственное предприятие, 2004. – 45 с. – (обучение ИТС по РЭО самолета АН-140-100.).
63. Розробка методів та алгоритмів розпізнавання конфліктних ситуацій у розподілених системах управління динамічними об'єктами. Звіт по НДР, тема 147ДБ–04, за 2007р. НАУ, № держ. реєстр. 010104U003744. В. П. Харченко, В. М. Васильєв, О. Г. Кукуш, С. А. Загора, І. В. Остроумов, Г. І. Хоптар, І. О. Гончаров, С. П. Петренко, Д. В. Васильєв, Т. М. Столярчук. – К.: НАУ, 2007. – 105 с.
64. Сокращённый минимум вертикального эшелонирования (RVSM). – Киев: Альфа - Принт, 2002. – 80 с.
65. Сосулин Ю. Г. Теория последовательных решений и её применения / Ю. Г. Сосулин, М. Н. Фишман. – М.: Радио и связь, 1985. – 320 с.
66. Справочник пилота штурмана гражданской авиации / [Русол В. А., Киселёв В. Ф., Крылов Г. О. и др.] : под ред. И. Ф. Васина. – М.: Транспорт, 1986. – 192 с.
67. Столярчук Т. М. Безпека повітряного руху – основна умова виконання польотів / Т. М. Столярчук, І. В. Остроумов // Політ-2008 : міжнародна наукова конференція студентів та молодих вчених, 10-11 квітня 2008 р. : тези доп. – К., 2008. – С. 146.
68. Теоретичні засади багатоальтернативного ситуаційного моделювання та оцінки ризиків в соціотехнічних системах. Звіт по НДР, тема 493-ДБ08, за 2008р. НАУ, № держ. реєстр. 0108U004004. В. П. Харченко, В. М. Васильєв, О. Г. Кукуш, С. А. Загора, І. В. Остроумов, І. О. Гончаров, Т. М. Столярчук. – К.: НАУ, 2008. – 142 с.

69. Ту Дж. Принципы распознавания образов / Дж. Ту, Р. Гонсалес: [перев. с англ. Гуревича И. Б.; под ред. Ю.И. Журавлёва]. – М.: Мир, 1978. – 414 с.
70. Ус А. А. Последовательное правило выбора решения, основанное на апостериорной вероятности / А. А. Ус, Г. Г. Косенко. – М.: Радиотехника и электроника. – Т.35. – №2. –1990. – С. 448-450.
71. Фор А. Восприятие и распознавание образов / А. Фор : [перев. с фр. Катус Г. П.]. – М.: Машиностроение, 1989. – 272 с.
72. Фри Флайт. Что это? // Сектор. – 2004. – №3. – С. 22-28.
73. Фу К. Последовательные методы в распознавании образов и обучении машин / К. Фу : [перев. с англ.]. – М.: Наука, 1971. – 259 с.
74. Фу К. Структурные методы в распознавании образов / К. Фу : [перевод с англ. Завалишина Н. В., Петрова С. В., Шейшина Р. Л.; под ред. М. А. Айзермана]. – М.: Мир, 1977. – 320 с.
75. Хант Э. Искусственный интеллект / Э. Хант. – М.: Мир, 1978. – Ч. 2: Распозн. образов. – С. 63-244.
76. Харисов В. Н. Глобальная спутниковая радионавигационная система ГЛОНАСС / Харисов В. Н. Перов А. И., Болдин В. А. – М.: ИПРЖР, 1998. – 400 с.
77. Харченко В. П. Многоальтернативный последовательный метод в задачах ситуационного анализа воздушной обстановки / В. П. Харченко, Г. Г. Косенко // Моделирование радиоэлектронных систем и комплексов обеспечения полётов: сб. науч. тр. – К.: КМУГА, 1996. – С. 3-10.
78. Харченко В. П. Проблемы развития и методы управления эффективностью систем аэронавигационного обслуживания: дис. ...доктора тех. наук: 05.22.13 / В. П. Харченко. – К., 1994. – 448 с.
79. Харченко В. П. Управління безпекою в аеронавігаційній системі: Методичні вказівки до виконання спеціального розділу дипломних проектів (робіт) / В. П. Харченко, Ю. В. Чинченко, В. М. Васильєв. – К.: НАУ, 2007. – 66 с.

80. Харченко В. П. Багатопараметрична класифікація спектру польотних ситуацій / В. П. Харченко, І. В. Остроумов, Ю.В. Зайцев // Вісн. НАУ. – 2008. – № 4(37). – С. 3–8.
81. Харченко В. П. Ймовірнісні характеристики відхилень повітряних кораблів від заданого ешелону польоту / В. П. Харченко, І. В. Остроумов // Вісн. НАУ. – 2008. – № 3(36). – С. 64–67.
82. Харченко В. П. Оптимизация количества измерений координат при многоальтернативной классификации ситуаций воздушного движения / В. П. Харченко, А. Г. Кукуш, И. В. Остроумов // Кибернетика и вычислительная техника : Сб. науч. трудов. – 2007. – № 153. – С. 52–59.
83. Харченко В. П. Щільність ймовірності відхилення літального апарата від заданої висоти польоту / В. П. Харченко, І. В. Остроумов // Електроніка та системи управління. – 2008. – №2 (16). – С. 85–91.
84. Чёрный М. А. Воздушная навигация: [учеб. для сред. спец. учеб. заведений]. / М. А. Чёрный, В. И. Кораблин. – [4-е изд.]. – М.: Транспорт, 1991. – 432 с.
85. Ширяев А. Н. Статистический последовательный анализ. Оптимальные правила постановки / А. Н. Ширяев. – М.: Наука, 1976. – 272 с.
86. Шлезингер М. Десять лекций по статистическому и структурному распознаванию / М. Шлезингер, В. Главач. – Киев: Наукова думка, 2004. – 540 с.
87. Энциклопедия безопасности авиации / [Кулик Н.С., Харченко В. П., Луцкий М. Г. и др.]: под ред. Н. С. Кулика. – К.: Техніка, 2008. – 1000 с.
88. Aldenderfer M. S. Cluster Analysis / Mark S. Aldenderfer, Roger K. Blashfield. – SAGE, 1984. – 88 p.
89. Anderberg M. R. Cluster Analysis for Applications / M. R. Anderberg. – Academic Press, 1973. – 359 p.
90. Australian Aviation Safety in Review. ATSB transport safety report. Aviation Research and Analysis Report. First edition 2007 – 61 p.
91. Berger J. O. Statistical Decision Theory and Bayesian Analysis / J. O. Berger. – New York : Springer, 1993. – 569 p.

92. Bicchieri C. The Dynamics of Norms / Cristina Bicchieri, Richard C. Jeffrey, Brian Skyrms. – CUP Archive, 1997. – 222 p.
93. CAP 763. Aviation Safety Review 2005 / Safety Regulation Group. – Civil Aviation Authority, 2006. – 134 p.
94. Carlin B.P. Bayes and Empirical Bayes Methods for Data Analysis/ Bradley P. Carlin, Thomas A. Louis. – CRC Press, 2000. – 419 p.
95. Cheeseman P. Bayesian classification / P. Cheeseman, M. Self, J. Kelly, J. Stutz, W. Taylor, D. Freeman // In Seventh National Conference on Artificial Intelligence. Saint Paul, Minnesota. – Saint Paul : USA, 1988. – pp. 607–610.
96. Christopher M. Bishop Pattern Recognition and Machine Learning / M. Bishop Christopher. – New York: Springer, 2006. – 738 p.
97. Devijaver P. E. Pattern recognition: a statistical approach / P. E. Devijaver, J. Kittler. – London : Prentice-Hall Inc., 1982. – 448 p.
98. Duda O. Pattern Classification / O. Duda, E. Hart Peter, G. Stork David. – John Wiley & Sons incorporated, 2003. – 680 p.
99. Fukunaga K. Introduction to statistical pattern recognition / K. Fukunaga. – New York : Academic Press, 1990. – 591 p.
100. Global Positioning system: Theory and applications. Volume 1 / [edited by Bradford W. Parkinson, James J. Spilker Jr.]. – Washington : American institute of aeronautics and astronautics inc., 1996. – 794 p.
101. Hanson R. Bayesian classification with correlation and inheritance / R. Hanson, J. Stutz, P. Cheeseman // In 12th International Joint Conference on Artificial Intelligence. – Sydney, Australia, 1991. – pp. 692-698.
102. Jean-Michel Marin Bayesian Core: A Practical Approach to Computational Bayesian / Marin Jean-Michel, P. Robert Christian. – NY: Springer Texts in Statistics, 2007. – 258 p.
103. Jordan M. I. Learning in Graphical Models / Michael Irwin Jordan. – MIT Press., 1998. – 634p.
104. Kharchenko V. Multiple-choice classification in air navigation system / V. Kharchenko, I. Ostroumov // Proceeding of the NAU. – 2008. – № 2. – 5-9 pp.

105. Leonard T. Bayesian Methods: An Analysis for Statisticians and Interdisciplinary Researchers / Thomas Leonard, John S. J. Hsu. – Cambridge University Press, 1999. – 333 p.
106. MacKay David J.C. Information Theory, Inference, and Learning Algorithms / David J.C. MacKay. – Cambridge University Press, 2003. – 640 p.
107. Ocelikova E. Bayes classifier in multidimensional data classification / E. Ocelikova, D. Klimesova // 15th Int. conference process control, june 7-10. – Slovakia, 2005. – pp. 188.1-188.5.
108. Ocelikova E. Contribution to the Classification of Multidimensional Data / E. Ocelikova, D. Klimesova // In: Proceedings of 2nd Slovakian-Hungarian Joint Symposium on Applied Machine Intelligence, SAMI 2004, Herľany, Slovakia, January 16-17. – Herľany, Slovakia, 2004. – pp. 71-76.
109. Ocelikova E. Statistical Classification Techniques / E. Ocelikova, J. Kristof // In: Proc. of the 34th Spring International Conference "Modelling and Simulation of Systems MOSIS", May 2-4, Rožnov pod Radhoštem. – 2000. – pp. 111-116.
110. Parzen E. On the estimation of a probability density function and mode / E. Parzen // Annals of Mathematical Statistics. – 1962. – Vol.33. – pp. 1065-1076.
111. Patricia Melin Hybrid Intelligent Systems for Pattern recognition using soft computing / Melin Patricia, Castillo Oscar. – Springer, 2005. – 272 p.
112. Petra Perner Machine Learning and Data Mining in Pattern / Perner Petra, Imiya Atsushi. – Springer, 2005. – 695 p.
113. Pham T. V. Face detection by aggregated bayesian network classifiers / T. V. Pham, M. Worring, A. W. M. Smeulders // Pattern Recognition Letters. – 2002. – №23(4). – pp. 451- 461.
114. Phiroz Bhagat Pattern Recognition in Industry / Bhagat Phiroz. – Elsevier, 2005. – 200 p.
115. Sankar K. Pal Pattern Recognition: From Classical to Modern / K. Pal Sankar. – World Scientific, 2001. – 500 p.

116. Sergios Theodoridis Pattern Recognition. Third edition / Theodoridis Sergios, Koutroumbas Konstantinos. – Academic Press is an imprint of Elsevier, 2006. – 848 p.
117. TCAS-4000. Traffic Alert and Collision Avoidance System. – Rockwell Collins, 2002. – 187 p.

Додаток А.

Розроблені алгоритми та програми

А.1. Алгоритми

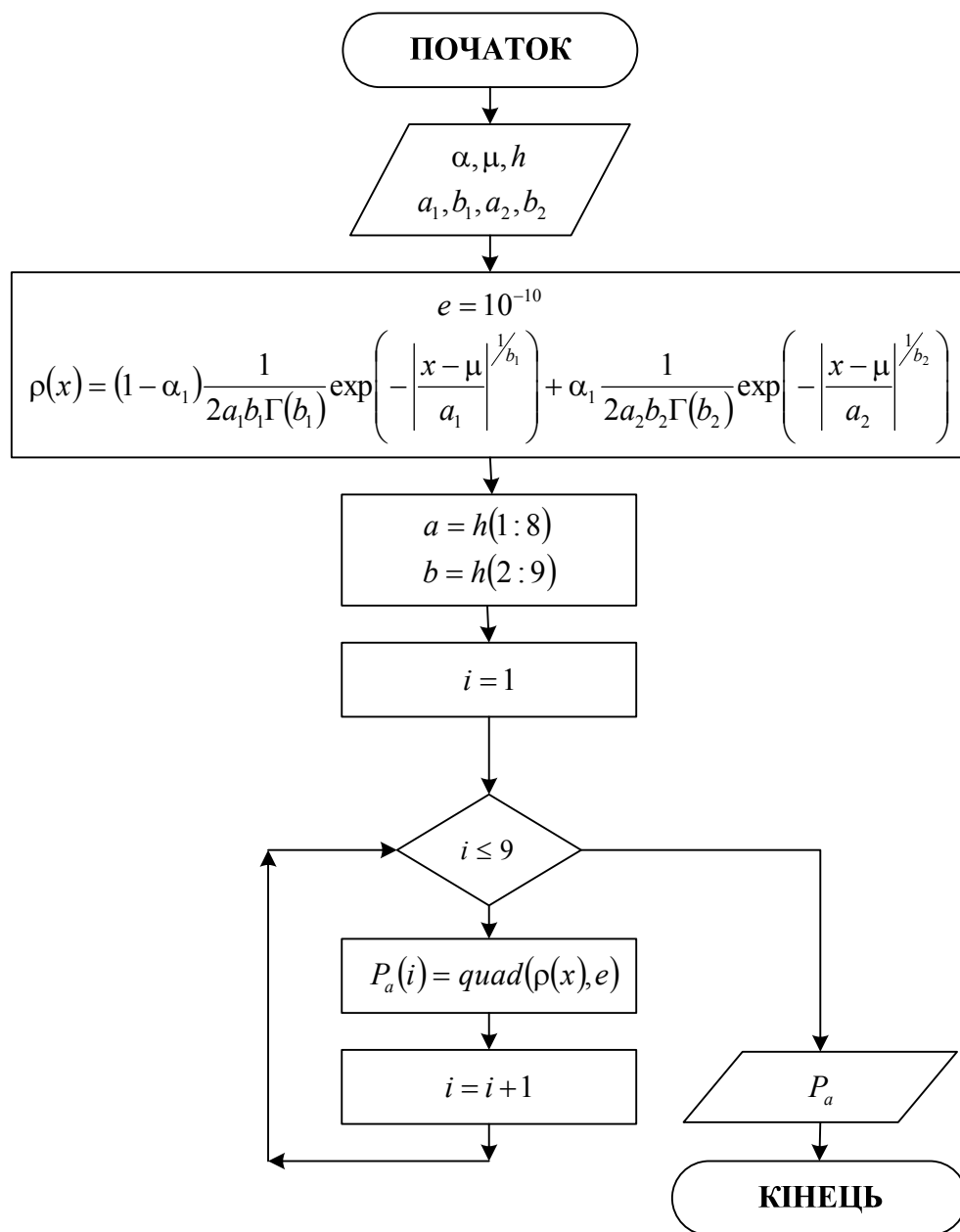


Рис. А.1. Алгоритм розрахунку апріорних ймовірностей класів повітряного стану

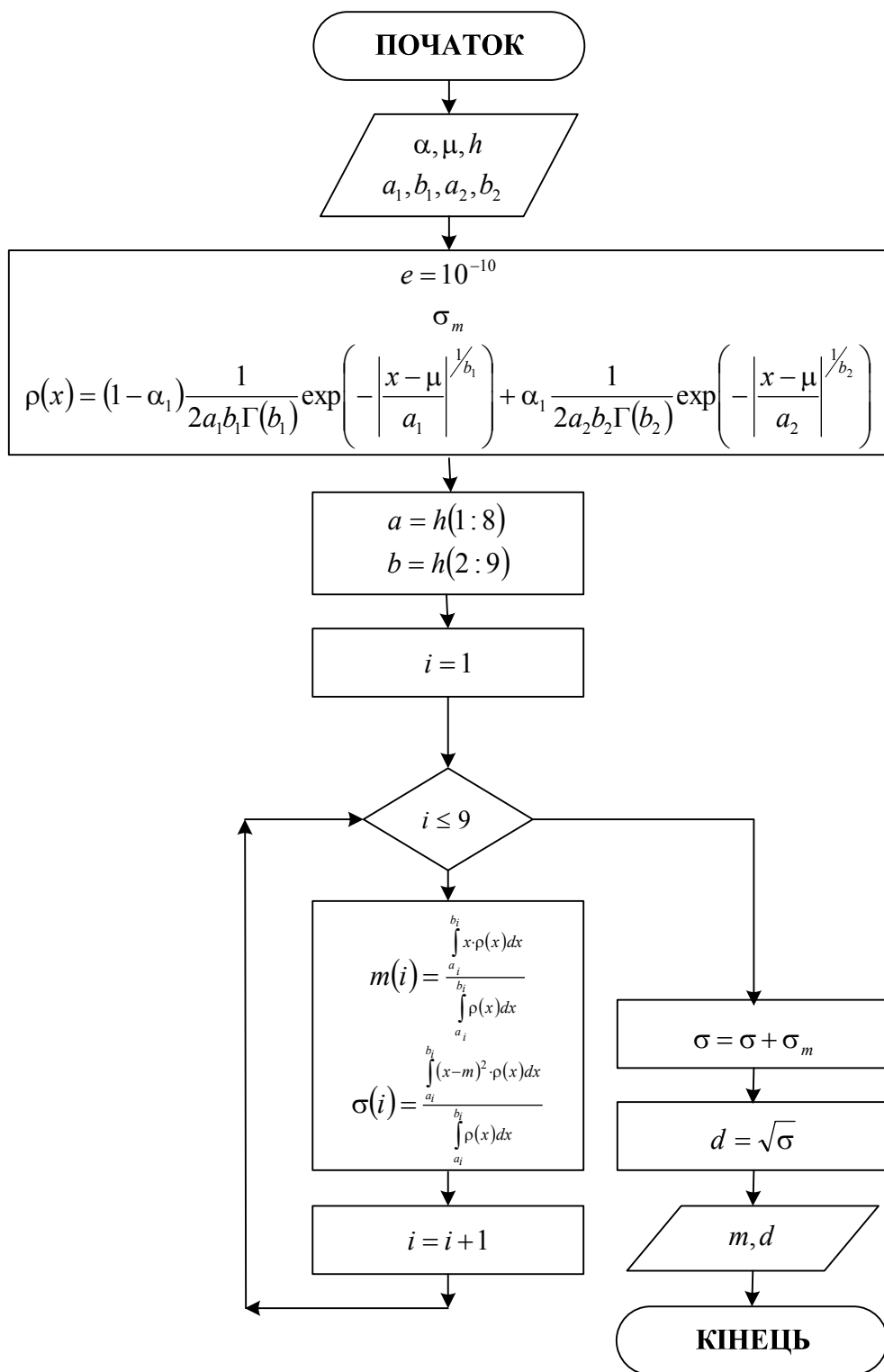


Рис. А.2. Алгоритм розрахунку параметрів апіорних умовних щільностей класів

