УДК 681.513

Баранов Г.Л., Міронова В.Л., Тихонов І.В.
ДП "Центральний НДІ навігації і управління",
Національний транспортний університет,
Київська державна академія водного транспорту
ім гетьмана Петра Конашевича-Сагайдачного

АКСІОМАТИКА АЛГОРИТМІЧНИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ В ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМАХ НАВІГАЦІЇ ТА УПРАВЛІННЯ РУХОМ СУДЕН

Сучасні та новітні системи навігації та управління рухом (СНУР) різноманітних швидкісних водних транспортних засобів (ВТЗ) все більш набувають рис інтелектуальних транспортних систем (ITS) поліергатичтного класу. Означена тенденція обумовлена тим, що по всьому світі навіть в провідних країнах відбуваються резонансні аварії з ВТЗ, які спроектовані, побудовані та оснащені перспективними СНУР для забезпечення безпеки життя пасажирів, вантажів та захисту навколишнього середовища [1 – 5].

Внаслідок реальних процесів природного та соціотехнічного типу у відкритій складній динамічній системі відбуваються неконтрольовані динамічні зміни, які впливають на рух ВТЗ, а також на кожного інтелектуального агента системи ($IAS \in ITS$) у межах СНУР транспортними потоками. Поточні нечутливі зміни у просторі і часі породжують дефекти, які на перших етапах майже непомітні. Але через певні інтервали часу при відповідному збігу системних обставин у внутрішньому та зовнішньому середовищі непомітні малі дефекти можуть стрибкоподібно перетворитись у загрозливі аварійні події та конфліктні ситуації. Завдяки різним заздалегідь налагодженим процедурам реалізуються необхідні для управління результатами вимірювання параметрів процесів руху ВТЗ у зоні обслуговування СНУР.

В більшості робіт по теорії та практиці вимірювань використовують припущення про існування еталона, як точного значення вимірювальної величини з оціненою похибкою [7, 8]. Але бажаний "еталон" інколи неможливо знайти [9], особливо для реальних режимів експлуатації ВТЗ у складних умовах функціонування складної динамічної системи. На практиці, з урахуванням вищезазначеного, особливо для гарантування безпеки руху різноманітних ВТЗ необхідні оцінки похибки вимірюваної величини. Саме для таких ситуацій побудова алгоритму на базі формальної логіки та аксіоматики є актуальною проблемою [3 – 6, 10].

Процес алгоритмічних перетворень початкових (вхідних) даних у наступні дані (вихідні результати) визначає правило розв'язування зафіксованої практичної задачі шляхом покрокових стандартних актів дії. Відомі дві наукових школи побудови алгоритмів та базових понять.

Класична математика, як традиційна школа, за базові поняття обрала: теорію множин, абстракцію актуальної нескінченності та логіку булевої алгебри для доведення розв'язків [11].

Конструктивна математика за школою А.А. Маркова [12, 13] це "абстрактна наука про конструктивні процеси, про наш спосіб реалізувати такі процеси та отримувати їх результати у вигляді конструктивних об'єктів". Таким чином у межах даної парадигми [12, 13] будують та використовують лише конструктивні об'єкти. Головна перевага конструктивного алгоритму в тому, що чітко, однозначно, просто (з наявних, заданих деталей) визначаються умови та ресурси у вигляді заданих вхідних даних, які забезпечують отримання цільового результату, тобто розв'язку формалізованої математичної задачі. Побудова нового математичного об'єкту здійснюється за допомогою обраних алфавітів та правил формування комбінацій та перетворення конструкцій-агрегатів. Конструктивна математика дозволяє реалізацію конструктивного алгоритму необхідних відношень, таких як: рівностіеквівалентності; з'єднання-комбінування; причин-наслідків; описів початкових та цільових станів; просторових й часових подійперетворень; декомпозиції та композиції; розгалуження й переключення відповідно правил, логічних процедур та формалізованих рішень при виконанні логічних та алгебраїчних типових програмах модулів, як конструктивних автоматів перетворювачів.

Конструктивна логіка забезпечує однозначний вибір на множені можливих альтернатів варіантів актів дій. Згідно конкретних умов, що можуть змінюватися та формувати відповідну конструктивну ситуацію, отримуємо лише один варіант на подальші кроки реалізації, який обумовлений явним врахуванням всіх існуючих на цю мить (інтервал часу прийняття рішення) критеріїв.

Рівень безпеки руху ВТЗ у конкретній зоні підвищеного ризику подій (ЗПРП) можливими небажаними результатами (аварії, катастрофи, руйнування, загибель) це наслідок системних поліергетичних реальних зусиль соціуму під час реалізації транспортної роботи згідно заздалегідь визначених, але не виконуємих, деякими особами, що приймають рішення, правил на всіх ієрархічних рівнях СНУР ITS.

Багаторівневе розгалужене ієрархічне управління процесами руху ВТЗ у межах конкретних ЗПРП, що належать єдиному транспортнодорожньому комплексу (ТДК) держави, передбачає не менш ніж сім рівнів:

прогнозування планування та програмування стратегічних нормативів стосовно щільності та обсягів перевезень різними ВТЗ на майбутній термін;

розподілу всіх видів ресурсів на узгоджений розвиток ТДК підвищення рівнів безпеки руху у межах ЗПРП;

проектування, виготовлення та впровадження новітніх прогресивних СНУР для диспетчерських центрів обслуговування зони покриття, а також бортових багато функціональних комплексів навігації та управління рухом кожним ВТЗ;

забезпечення кадрами, технологією та технікою для контролю синхронізації та організації унімодальних інтегрованих перевезень пасажирів й вантажів за дозволеними маршрутами;

логістичного забезпечення ресурсами, які витрачаються ВТЗ та $IAS \in ITS$ при здійсненні транспортної роботи учасниками поліергатичних різноманітних підсистем;

координаційного оперативного управління з метою уникнення загроз, небезпеки, ризиків під час поточного ситуативного руху по ділянками ТДК;

фізико-енергетичного (сило-моментного) корегування зрозумілих похибок у межах оперативного термінального управління ВТЗ та реалізації поточної ситуації адекватних актів маневрування без аварійних подій.

На кожному рівні ієрархічної організації ITS та інтегрованих глобальних СНУР розв’язують специфічні задачі, кожна з яких має причетність та проекцію на сферу забезпечення безпеки руху ВТЗ у межах ЗПРП на кожному життєвому циклі єдиного ТДК держави. Практичні цінності мають лише таки розв’язки, які отримані з оцінкою точності результату. Втрата корисності результатів діяльності IAS_{ij}, $\forall i=i,n$, $\forall j=1,7$ відбувається у наслідок неузгодженої конфліктної діяльності без фіксування значень умов механізмів алгоритмів точності оцінок початкових проміжних та цілевих даних стосовно розв’язку фіксованої задачі. Похибку та фактори невизначеності генерують деякі особи, що приймають рішення в IAS.

Аксиоматизація ключових понять та означень.

Термін *наслідок* цілеспрямованого вимірювального експерименту (ЦВЕ) це те, що отримують у процесах реалізації ЦВЕ, який містить всі суттєві умови зв’язку обставини обмеження та фактори впливу на результат який виникає по застосуванням природних соціотехнологічних та технічних ресурсів матеріалів механізмів. Наслідок виникає з причин реалізації конструктивних алгоритмів на фізичному природному рівні.

Фіксована подія є наслідком ЦВЕ, у якому явно може буди відокремлена та відсторонена роль особи, що приймає рішення, тому, що швидкоплинність реальних фізичних процесів та явищ реєструється автоматично з застосуванням сучасних комп’ютерів для завершення сигнальних записів у пам’ять ЕОМ, наявних бортових багатофункціональних комплексів та діючих програмно апаратних комплексів СНУР ВТЗ.

Результат вимірювань отримуємо лише на основі реалізації запланованої програми здійснення ЦВЕ та спец програми, обробки накопиченої сутності даних у вигляді фіксованих наслідків та подій з конструктивними об’єктами дослідження.

Конструктивна *програма* завжди побудована за чітко визначених правил, методів та алгоритмів розв’язку типових задач практики, які складають задачну систему для комплексної обробки результатів ЦВЕ.

Постановка задач ЦВЕ обов’язково потребує ретельного конструктивного обґрунтування станів під час минулого, сучасного, майбутнього.

Точність, повнота, достовірність (надійність) одержання результатів ЦВЕ досягається за рахунок дотримання двох наступних принципів.

Принцип існування гомоморфного відображення властивостей емпіричної системи (об’єкту, процесу, явища) в математичну модель, яка одночасно отримана завдяки формальним операціям та процедурам досягнення наслідків та результатів.

Принцип інваріантності шкальних значень або шкальних перетворень означає, що повне гарантування щодо отримання одних й тих кількісних значень вимірних величин є обов’язковою умовою єдності мір та однакових обставин, що відображають та фіксують як внутрішній так і зовнішній стан щодо факторів впливу на зазначений об’єкт, який є метою та цілями ЦВЕ.

Шлях формалізації системи базових означень.

01. Математична модель емпіричного об’єкту (явища, процесу) дослідження є продуктом сукупності накопичених та зафіксованих знань, фактів, аргументів, аксіом (припущень), які дозволяють побудувати цілісну, логічну, бездоганну й несуперечливу структуру, що гомоморфно відображає основні, ключеві, головні властивості об’єкта.

Математична модель, (яка побудована з математичних об’єктів, термінів, понять та символів), призначена для подальших розв'язків певного класу задач практики для нових параметрів (деталей, зв'язків між ними, обмежень, та умов функціонування складної динамічної системи подібності та адекватності реальних об'єктам.

У межах ЦВЕ об'єкти та математичні моделі неповністю тотожні. Математична модель лише заміщує складний природний об'єкт. Спрощена математична модель працює (у межах засобів моделювання) незалежно від самого реального об'єкта. Саме це забезпечує швидкість одержування результатів вимірювань під час моделювання. Але необхідно пам'ятати, що негативна сторона математичного моделювання пов'язана з існуванням принципової часткової невизначеності та ризику похибки. Тому ключовим процесом є контроль похибок на кожному етапі моделювання СДС. Особлива увага до безпомилковості необхідна при визначеності заданої множині X, яка складається з базових елементів $x_i \in X$, $\forall i = \overline{1,n}$ – конструктивних деталей непорожньої сукупності.

Згідно відбору та групуванню однорідних за зазначеними властивостями елементів множини X можливо складати різні класи C об'єктів (точок) як відповідної $\mathfrak{I}$ підмножини. Відкрита множина простору C складається з елементів даної сукупності та пустої множини. Певне об'єднання заданих відкритих множин називають топологією простору C або топологічною структурою. Топологією $\mathfrak{I}$ будується система околів. При цьому окіл U є околом точки $x_i \in X$ з позначенням $U(x_i) \in \mathfrak{I}$ якщо $x_i \in U$.

02. Пара $(X, \mathfrak{I})$ множин називається топологічним простором, якщо виконані умови:

$$(\forall x_i \in X)(\exists U \in \mathfrak{I}) : x \in U\,; \tag{1}$$

$$(\forall x \in X)(\forall U(x),\, V(x) \in \mathfrak{I})(\exists W(x) \in \mathfrak{I}) : Wx \subseteq U(x)\big|V(x). \tag{2}$$

Тоді дві різні точки простору стають розділені (розрізнені) в топології $\mathfrak{I}$ за допомогою околів. Це отримано у наслідок того, що кожна пара точок хаусдорфового простору $(X, \mathfrak{I})$ має околи, що не перетинаються.

03. Хаусдорфовим топологічний простір $(X, \mathfrak{I})$ буде тоді, коли крім умов (1) та (2) означення (2) доповнюють додатковою умовою

$$(\forall x, y \in X, x \neq y)(\exists U(x), U(y) \in \mathfrak{I}) : Ux \cap \cup U(y) = \varnothing\,. \tag{3}$$

04. Підсімейство $(B \subset \Im)$ відкритих множин називаються *базою топології* $\Im$, якщо кожний елемент з $\Im$ можливо подати у вигляді об'єднання із *B*.

05. Метричний простір для класу *C* об'єктів (точок (*x, y, z, …*) встановлює правила для кожної пари точок $x, y \in C$, якщо визначено дійсне число *d*(*x,y*) (як метрика відстані між *x* та *y*) таке, що

$$d(x, y) = 0, \forall x \in y, \tag{4}$$

$$d(x, y) \le d(x, y) + d(y, z).$$

Таким чином для всіх елементів *x* та *y* із *C* виконується нерівність трикутника та властивості міри $d(x, y) \ge 0,\ d(x, y) = d(y, x)$ й симетрії.

Вище вказані міри забезпечують відображення (перетворення, відповідність, операція, функція $x \to x' = f(x)$ при побудові математичної моделі в області зображень відносно реальних природних (фізичних) об'єктів в області оригіналу. Міра (3) та (4) може бути застосована для фізичних величин: довжина, площа, об'єм, маса, сила, тиск, відстань, та ін. Це приклади тільки невід'ємного голосового значення. Але при вимірюваннях на шкалі з означенням нульового положення необхідно враховувати також від'ємні значення. Ці протилежні фізичні величини можливо формалізувати. Наприклад, електричний заряд $\pm q$ може характеризувати навколо власного ядра атома та електрони, які рухаються навколо власного ядра з зарядом.

06. Дійсна функція *q*, яка задана в просторі *X* на σ алгебрі підмножин $\Im$ вимірного простору за допомогою $q(A) \in \Re$ множини дійсних чисел на прямій, називається *зарядом,* якщо використовуються такі умови:

$$q(\varnothing) = \varnothing;$$

$$q\left(\sum_{j=1}^{\infty} A_j\right) = \sum_{j=1}^{\infty} q(A_j);$$

$$a = (A, \Omega_F, \Omega_p),$$

де *a* – алгебраїчний об'єкт для якого *A* – носій алгебраїчних системи не порожньої множини елементів, а також множину Ω_F функцій (операцій на *A*) і множину Ω_p предикатів (логічних відношень на *A*).

Функція заряду $\pm q$ злічена та адаптивна, причому невід'ємні та від'ємні підпростори не перетинаються.

07. Вимірним топологічним простором з зарядом q називаємо трійку $(X,\mathfrak{I},q)$, яка необхідна для безпомилкового визначення (опису та моделювання) ЦВЕ.

Математична задача вимірювань для відображення реальних природних процесів руху ВТЗ при участі СНУР ITS по кожній ЗПРП на ТДК має дві складові. Перша – постанова задачі функціонує та описує відомий взаємозв'язок (взаємозалежність) усіх математичних моделей об'єктів процесу вимірювань, включаючи завдання – значення параметрів, структури, початкових та граничних умов областей їх існування та конкретні обмеження на витрати, ресурси, механізми. Друга складова – задачні питання, що треба розв'язати та вирішити шляхом доведення гарантованої оцінки результату і можливої похибки. Для більшості конструктивних задач практики відповідь, яка задовольняє вимогам та сформульованим (ініційованим, актуалізованим) запитання, міститься в неявній формі у постановці самої задачі. Дана властивість алгебраїчної системи для формулювання прямих та обернених задач обумовлена повною теоретичної аксіоматизації ЦВЕ згідно наступних формальних тверджень.

Аксіома 1. Кожному наслідку ЦВЕ ставиться у відповідність конструктивний елемент (деталь, точка) x_i визначеної відкритої та не порожньої множини X.

Аксіома 2. Серії послідовних наслідків ЦВЕ (часові та просторові упорядковані ряди), які стосуються одного й того ж самого об'єкту вимірювань, відображені (поставлені у відповідність) у топології $\mathfrak{I}$ підмножин множини X.

Аксіома 3. Міра-заряд q, якій визначено на алгебрі підмножин $\mathfrak{I}$ як дійсна функція, узагальнює результати у просторі наслідків ЦВЕ множин X.

Конструктивна математизація даної системи аксіом потребує гарантування виконання вимог, в першу чергу аксіоми повинні бути:

несуперечливими відносно об'єктів вимірювань;

незалежними одна від іншої;

неповною у тій частині, яка дозволяє подальший розвиток теорії с різними топологіями, що знімають певну невизначеність припущень.

Класичний приклад тривалого застосування теорії є система аксіом Евкліда для геометричного простору. Але зміна сутностей лише однієї 5-ї аксіоми (постулат про паралельні лінії) привела до побудови інших: геометрії Лобачевского та Рімана, які відмінні від евклідового без кривизни простору.

Конструктивні алгоритми програмно-апаратних комплексів, що належать бортовим багатофункціональним комплексам ВТЗ та засобам СНУР у ЗПРП на ділянках ТДК, характеризуються роздільними спроможностями та межами максимальної похибки вимірювальної величини. Потенційна спроможність типових програм модулів, програмно-апаратних комплексів служить основою для побудови системи околів, хаусдорфова топологічного простору $(X,\Im)$. В результаті проведення та фіксування за однаковими умовами $n(n>1)$ кроків вимірювання згідно програмами ЦВЕ отримуємо дискретну упорядковану послідовність значень заряду q_1, q_2, q_3, … q_n, яка служить основою при визначенні результату та похибки вимірювань.

08. Результатом ЦВЕ є однозначно та конструктивно визначена функція послідовних значень заряду $Q_n = f(q_1, q_2,..., q_n)$, яка задовольняє умовам повністю визначеним задачею вимірювань. Така функція фактично є алгоритмом обробки наслідків при покроковому розв'язку заданої задачі. Від функції Q_n та метрики оцінювання відстані між зарядами $\varsigma(q_i,q_j)$ задовольняють відомим умовам:

співпадання околів – $\varsigma(q_i,q_j)=0,\forall i=j;\ i,j\in N$;

симетрії топології $\varsigma(q_i,q_j)=\varsigma(q_j,q_i)$;

нерівності трикутника $\varsigma(q_i,q_m)\le\varsigma(q_i,q_j)+\varsigma(q_j,q_m),\forall i,j,m\in N$.

Формальна структуризація топології та аксіоматизація властивостей елементів та самого об'єкта дозволяє визначати відношення між розрізненими точками.

09. Похибка ЦВЕ в топологічному означеному просторі з зарядом $(X,\Im,q)$ є діаметр множини значень заряду $\{q\}$, як точна верхня грань між парами з означеної множини

$$\sup_{ij}\varsigma(q_i,q_j),\ i,j\in N;\ q_j,q_i\in\{q\}. \qquad (9)$$

10. Результат при фіксованій X множині та реалізації програми ЦВЕ є перетин $\Im_0=\bigcap_n \Im_n$ конструктивно визначеній множині топології $\left\{\Im_n,\ n=\overline{1,N}\right\}$ в X множині. Таким чином можливо стверджувати , що результатом вимірювань є найслабкіша топологія $\Im_0$ множини X, яка міститься (вкладена) у всіх можливих топологіях $\left\{\Im_n,\ n=\overline{1,N}\right\}$. База топології $\Im_0$ є областю визначення результату вимірювань.

Коли згідно заданої задачі неможливо приписати міру (заряд q), тоді треба змінити першу частину та відкоригувати постановку задачі таким чином, щоб відбулось узгодження фізичної природи простору оригіналу з математично конструктивною моделлю простору зображень, де й виконується розв'язок типових задач з конструктивним визначенням результату та похибки вимірювання у означеному $\mathfrak{I}$ топологічному просторі заданій множини *X*.

Даний аксіоматичний відхід не використовує поняття еталона та точного значення величини вимірювання.

Але для цього потрібна цілісна система алгебраїзації з наданням топологічних властивостей та міри для заданої *X* множині.

За результатами дослідження зроблені наступні *висновки*.

1. Проблеми забезпечення навігаційної безпеки руху швидкісних водних транспортних засобів наряду з організаційними, технологічними та технічними напрямами потребують формалізації, структуризації представлення знань та конструктивних алгоритмів прогресивних програмно-апаратних комплексів новітніх систем навігації та управління рухом.

2. Засоби вимірювання та оцінки небезпечності й ризиків зіткнення шляхом побудови функціональної стійкості навігаційного обслуговування безпеки руху швидкісних водних транспортних засобів повинні базуватись на конструктивній теорії цілеспрямованого вимірювального експерименту.

3. Контроль параметрів режимів роботи транспортних засобів та показників навігаційної безпеки буде конструктивним та ефективним за умов аксіоматизації властивостей елементів складної динамічної системи з точними визначеннями результату, похибки та алгоритму розв'язку типової математичної задачі.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Международная конвенция по охране человеческой жизни на море 1974 года – СПб: ЗАО ЦНИИМФ, 2002. – 928 с.

2. Международная конвенция по предупреждению столкновения судов в море 1972 года (МППСС–72). – СПб: ЗАО ЦНИИМФ, 2004. – 118 с.

3. Миюсов М.В. Проблемы обеспечения безопасности судоходства Черного и Азовского морей / М.В. Миюсов, В.Г. Торский // Современные проблемы повышения безопасности судовождения: материалы научно-методической конференции. – Одесса: ИздатИнформ ОНМА, 2009. – С. 76 – 80.

4. Энциклопедия безопасности авиации / Н.С. Кулик, В.П. Харченко, М.Г. Луцкий и др.; под. ред. Н.С. Кулика. – К.: Техника, 2008. – 1000 с.

5. Алексишин В.Г. Обеспечение навигационной безопасности плавания: учебное пособие / В.Г. Алексишин, Л.А. Козырь, С.В. Симоненко. –

Одесса: Феникс; М.: ТрансЛит, 2009. – 518 с.

6. Баранов Г.Л. Функціональна стійкість навігаційного обслуговування безпеки судноплавства на внутрішніх водних шляхах / Г.Л. Баранов, А.М. Носовський, І.В Тихонов. – К.: КДАВТ, 2012. – 149 с.

7. Берка К. Измерения. Понятия, теории, проблемы / К. Берка. Пер с чеш. – М.: Прогресс, 1987. – 320 с.

8. Халмош П. Теория меры / П. Халмош. Пер с анг. – М.: 1953. – 289 с.

9. Марченко Б.Г. Сучасна концепція побудови теорії вимірювань / Б.Г. Марченко, Л.М. Щербак // Доповіді Національної академії наук України – К.: 1999. – №10. – С. 85 – 88.

10. Мальцев А.С. Способ оценки опасности столкновения в системах управления движением судов / А.С. Мальцев, А.П. Бень, Нгун Тхань Шон // Судовождение. – 2009. – Вып. 16. – Одесса: ОНМА. – С. 97 – 107.

11. Корн Г. Справочник по математике (для научных работников и инженеров) / Г. Корн, Т. Корн. Пер с англ. – М.: НАУКА, ГРФМЛ, 1974. – 831 с.

12. Марков А.А. Теория алгоритмов / А.А. Марков // Труды Математического института АН СССР им. В.А.Стеклова. – 1970. – Вып. 113. – М.: Наука, 1970. – С. 39 – 72.

13. Шурыгин В.А. Основы конструктивного математического анализа. – М.: Едиториал УРСС, 2004. – 328 с.