

УДК 004.91

О.Г. ДОДОНОВ*, О.В. НИКИФОРОВ**, В.Г. ПУТЯТІН*

**КОНЦЕПТУАЛЬНЕ ПРОЄКТУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ
УПРАВЛІННЯ ГРУПОЮ БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ІЗ
ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ КАТЕГОРІЙНОГО АНАЛІЗУ**

*Інститут проблем реєстрації інформації НАН України, м. Київ, Україна

**Науковий центр Повітряних Сил Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, Україна

Анотація. Концептуальне проектування автоматизованих систем управління (АСУ) є важливим етапом під час їх розробки та створення. Прорахунки, які тут допущені, як правило, не можуть бути компенсовані на наступних етапах проєкту. Не дивлячись на це, на цей час не існує достатньо розвинутої теорії концептуального проектування перспективних АСУ. Як правило, при формуванні концепції (простору управління) нової АСУ або використовують прототип, або розробляються принципово нові концептуальні рішення. В статті представлено спробу розробити методіку концептуального проектування АСУ, яка поширює творчі можливості проєктувальника за рахунок впорядкування ходу його міркувань та зменшення розмірності задачі синтезу. Запропонований шаблон для створення параметричної концепції АСУ з наступною її деталізацією за рахунок використання методу категорійного аналізу. Метод продемонстрований на прикладі розробки концепції АСУ групою безпілотних літальних апаратів (БпЛА). Розглянуто конструктивну схему інформації управління, включаючи групи даних і відношення між ними. Групи даних сформовано з урахуванням багатоаспектності процесу управління, де аспекти (точки зору) згенеровано за допомогою апарата категорійного аналізу. Запропоновано інтерпретацію 32 категорійних підмножин, що розкривають 32 аспекти застосування груп БпЛА. На прикладі аспекту функціонування групи БпЛА, що стосується вогневого та радіоелектронного подавлення засобів протиповітряної оборони противника, яке виконується як елемент бойового забезпечення процесу вирішення основних задач, проведено деталізацію даних стану групи БпЛА. Для створеної системи метрик визначено групи процедур перетворення інформації. Представлені результати доцільно використовувати для створення адаптивного поліаспектного спеціального програмного забезпечення АСУ групою БпЛА.

Ключові слова: концептуальне проектування, автоматизована система управління, процедури управління, критерії управління, цілі управління, параметри стану, об'єкт управління, суб'єкт управління, безпілотний літальний апарат.

Аннотация. Концептуальное проектирование автоматизированных систем управления (АСУ) является важным этапом при их разработке и создании. Прорасчёты, допущенные здесь, как правило, не могут быть компенсированы на последующих этапах проекта. Несмотря на это, на настоящий момент не существует достаточно развитой теории концептуального проектирования перспективных АСУ. Как правило, при формировании концепции (пространства управления) новой АСУ либо используют прототип, либо разрабатываются принципиально новые концептуальные решения. В статье представлена попытка разработать методіку концептуального проектирования АСУ, которая расширяет творческие возможности проектировщика, упорядочивая ход его рассуждений и уменьшая размерность задачи синтеза. Предложен шаблон для создания параметрической концепции АСУ с последующей её детализацией за счёт использования метода категориального анализа. Метод продемонстрирован на примере разработки концепции АСУ группой беспилотных летательных аппаратов (БпЛА). Рассмотрена конструктивная схема информации управления, включая группы данных и отношения между ними. Группы данных сформированы с

учётom многоаспектности процесса управления, где аспекты (точки зрения) сгенерированы с помощью аппарата категориального анализа. Предложена интерпретация 32 категориальных подмножеств, раскрывающих 32 аспекта применения групп БпЛА. На примере аспекта функционирования БпЛА, касающегося огневого и радиоэлектронного подавления средств противовоздушной обороны противника, выполняемого как элемент боевого обеспечения процесса решения основных задач, проведена детализация данных состояния группы БпЛА. Для образованной системы метрик определены группы процедур преобразования информации. Представленные результаты целесообразно использовать для создания адаптивного полиаспектного специального программного обеспечения АСУ группой БпЛА.

Ключевые слова: концептуальное проектирование, автоматизированная система управления, процедуры управления, критерии управления, цели управления, параметры состояния, объект управления, субъект управления, беспилотный летательный аппарат.

Abstract. Conceptual design of automated control systems (ACS) is an important stage in their development and creation. The miscalculations made here, as a rule, cannot be compensated in the subsequent project stages. Despite this, at the moment there is no sufficiently developed theory of conceptual design of promising ACS. As a rule, when forming the concept (control space) of a new ACS, either use a prototype, or fundamentally new conceptual solutions are developed. The paper presents an attempt to develop a methodology for the conceptual design of an automated control system, which expands the designer's creative capabilities, streamlining his reasoning and reducing the dimension of the synthesis problem. A template is proposed for creating a parametric concept of ACS with its subsequent detailing through the use of the categorical analysis method. The method is demonstrated on the development example of ACS concept by a group of unmanned aerial vehicles (UAV). A constructive scheme of management information, including data groups and relationships between them is considered. Data groups are formed taking into account the multidimensionality of the management process, where aspects (points of view) are generated using the categorical analysis apparatus. The interpretation of 32 categorical subsets is proposed, revealing 32 aspects of the UAV groups usage. On the example of the UAV functioning aspect, concerning the fire and electronic suppression of the enemy's air defense, performed as an element of combat support for the process of solving the main tasks, the data on the state of the UAV group was detailed. For the formed metric system, groups of information transformation procedures are defined. It is advisable to use the presented results to create adaptive polyaspect special software for ACS by a UAV group.

Keywords: conceptual design, automated control system, control procedures, control criteria, control objectives, state parameters, control object, control subject, unmanned aerial vehicle.

DOI: 10.34121/1028-9763-2020-4-33-48

1. Вступ

При проектуванні будь-яких АСУ особливо важливим питанням завжди було і залишиться в подальшому питання окреслювання простору управління: визначення системи управлінських цілей, критеріїв їх досягнення, показників (характеристик) стану об'єкта управління. Відповідь на це запитання визначає, яким саме має бути обрис АСУ, що проектується, яка буде система автоматизованих управлінських процедур та які методи їх реалізації будуть використовуватися. Прорахунки, допущені на даному (концептуальному) етапі проектування з великою ймовірністю призводять до невдач під час розробки перспективних АСУ. Справу не спасають ні новітні інформаційно-технічні засоби, ні багатofункціональні та високопродуктивні середовища програмування. Чим більш складна АСУ проектується (управління підприємством, воєнними силами, обороною держави, країною в цілому), тим більш важливий етап концептуального проектування для отримання ефективної системи управління. Порядок концептуального проектування АСУ включає такі етапи або часткові задачі проектування. По-перше, це визначення параметрів «виходу» (зовнішніх проявлень) об'єкта управління, параметрів середовища, параметрів стану (вимірювання змін із точки зору суб'єкта управління) і параметрів управління. По-друге, визначення процедур переведення параметрів «виходу» в параметри стану, формування параметрів управління і про-

гнозування змін стану. По-третє, розподіл процедур за приладами, до яких відносяться як органи управління, так і технічне обладнання. Як видно, найбільш важливими (визначальними) з точки зору формування обрису перспективної АСУ є перший і другий етапи, де, власне, й формується простір управління. При цьому найбільшою концептуальною складністю тут виступає задача визначення параметрів стану того, як має сприйматися процес управління суб'єктом, включаючи критерії та стратегії управління. Як правило, такого роду складність проектування вирішується на основі управлінської практики, що склалася, або на основі прототипу, або це оголошується мистецтвом та віддається на відкуп таланту проектувальника. Перший і другий підходи достатньо прозорі, але ефективність АСУ, що створюються, в них забезпечується тільки для дня вчорашнього. День завтрашній та післязавтрашній – під сумнівом. Третій підхід – талант і прозорливість конструктора – дуже ефективний у цьому відношенні, але, разом з цим, є «річчю в собі», недоступною для методичного опису і широкого розповсюдження. У статті на прикладі розробки концепції АСУ групою безпілотних літальних апаратів (БПЛА) зроблено спробу методично впорядкувати винахідницький процес талановитого проектувальника перспективних АСУ за допомогою методу категорійного аналізу.

У статті описана конструктивна схема інформації управління, включаючи групи даних «виходу», умов, управління і стану; формалізовані співвідношення між параметричними групами, розгорнуті на множині моментів часу; процедури перетворення даних при здійсненні управління. В рамках описаної конструктивної схеми інформації виконана деталізація групи параметрів стану об'єкта управління на основі інтерпретації одного із сформованих категорійних підмножин цілісного процесу управління групою БПЛА, запропоновані процедури перетворення даних.

2. Конструктивна схема інформації управління групою БПЛА

Основним завданням концептуального проектування будь-якої складної системи, у тому числі й автоматизованої системи управління, є приведення виявленої на якісному рівні опису проблеми до структурованого виду, який дозволяє проводити подальші кількісні дослідження. Тобто результатом концептуальних досліджень має бути формування структури системи, яка характеризує якісну проблему, встановлення її границь у вигляді відношень із навколишнім середовищем, виділення і взаємозв'язування підсистем, що впливають на вирішення проблеми, формування системних задач (задач, що зв'язані з відношеннями в системі) [1].

Існують два підходи до синтезу систем, які взаємодоповнюють один одного. Це онтологічний і конструктивний підходи.

При онтологічному проектуванні використовується метод конструювання понять та виведення нових понять на основі встановлених аксіом [2]. При цьому найбільш досконалим способом визначення понять буде спосіб побудови понятійних конструкцій за допомогою аксіоматичних теорій [3]. Для здійснення маніпуляцій зі структурами понять застосовується математичний апарат ступенів множин [4].

При конструктивному підході для побудови концептуальних моделей використовуються типові конструкти, які з'являються інваріантами по відношенню до структур різного роду [5]. Наприклад, контур управління при конструктивному описі різних систем управління. Конструктивний підхід передбачає створення бібліотеки абстрактних конструктів, які використовуються як будівельні блоки при концептуальному описі складних систем [6].

У даній статті використаний конструктивний підхід, коли використовується інваріантний шаблон управлінської інформації типової АСУ, запропонований у [7]. На рис. 1 представлена графічна інтерпретація даного шаблону у прикладанні до АСУ групою БПЛА (рис. 1).

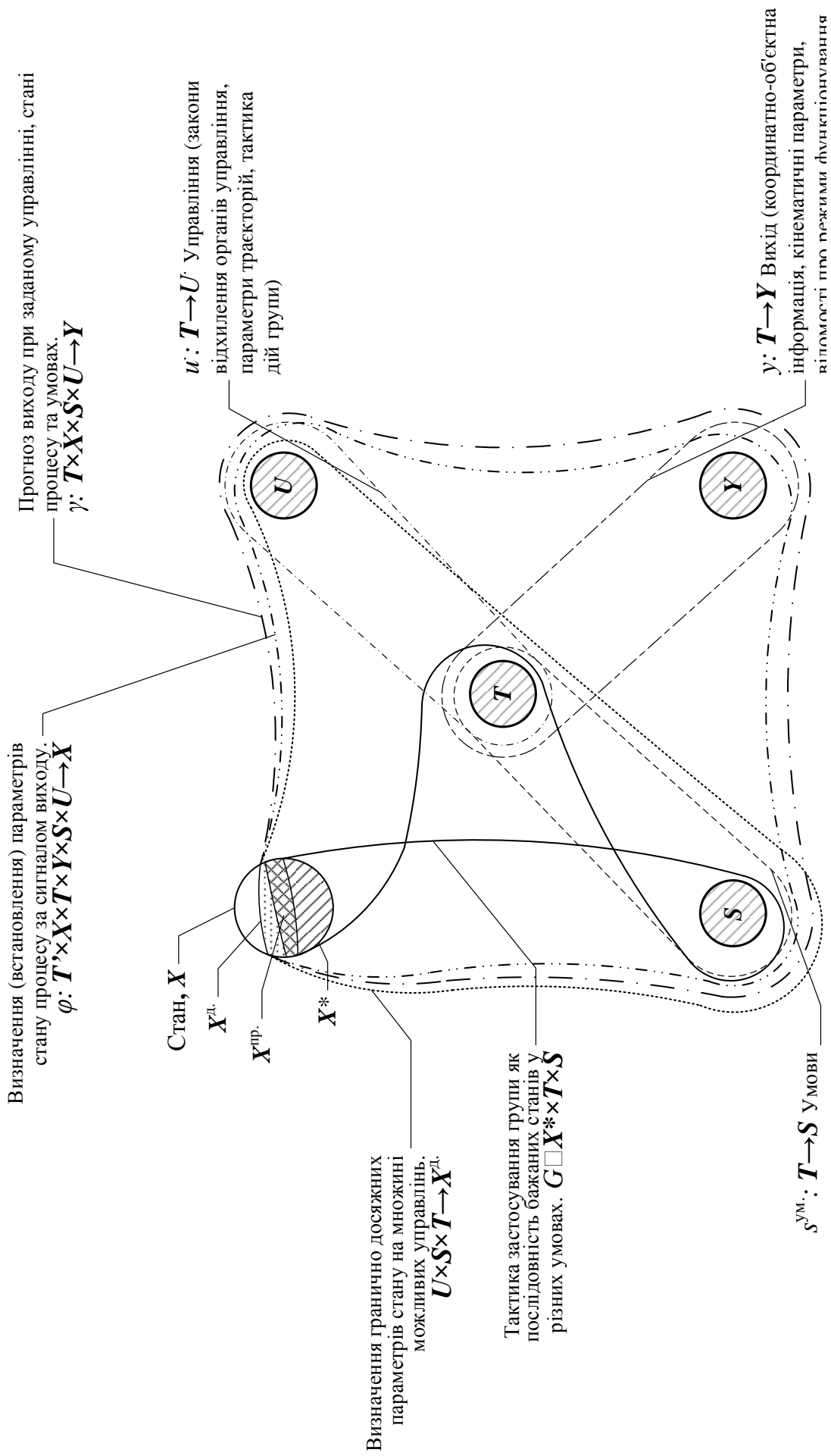


Рисунок 1 – Концептуальна схема інформації в АСУ групою БпЛА

Наведена концептуальна схема інформації містить такі групи даних:

- дискретні значення часу, T ;
- дискретні значення параметрів виходу, Y ;
- дискретні значення параметрів умов функціонування об'єкта управління, S ;
- дискретні значення параметрів управління, U ;
- дискретні значення параметрів стану об'єкта управління, X .

Представлення даних у дискретній формі викликано тим, що для їх опису й опису відношень між ними, процедур їх перетворення використовується апарат теорії множин. Також, на практиці, в базах даних реальних АСУ, управлінські дані присутні саме в дискретній формі.

Під дискретними значеннями часу, T , розуміються ті значення на осі часу, які відповідають моментам оновлення значень параметрів виходу, Y ; моментам оновлення значень параметрів умов функціонування, S ; моментам прикладання управлінських впливів до об'єкта управління, U ; моментам появи прогнозних наслідків у параметрах виходу після прикладання відповідних управлінських впливів.

Під параметрами виходу, Y , розуміються дані, які надходять у систему від наявних джерел інформації: радіолокаційних станцій (РЛС), станцій радіотехнічної розвідки (РТР) повітряного та наземного базування; бортових прицільно-навігаційних комплексів (ПрНК), систем управління зброєю (СУЗ) і комплексів розвідки БпЛА, пунктів управління нижнього рівня ієрархії. Це координати поточного місцеположення БпЛА; параметри, що характеризують їх орієнтацію у просторі; кінематичні параметри їх руху (швидкість, лінійне і кутове прискорення); показники режимів роботи бортових систем; характеристики результатів функціонування.

Під параметрами управління, U , розуміються дані, які генеруються системою управління для вимірювання функціонування об'єкта управління (групи БпЛА) з метою досягнення бажаного стану. Як параметри управління можуть розглядатися раціональна тактика застосування групи БпЛА, що обирається; дані цілевказання; дані цілерозподілу; параметри опорних траєкторій руху групи в цілому та окремих БпЛА; параметри роботи органів управління і бортових систем БпЛА.

Під параметрами умов функціонування об'єкта управління, S , розуміються дані, які характеризують вплив зовнішнього середовища, в якому відбувається функціонування групи БпЛА, на параметри виходу, обмеження на параметри стану при формуванні управління БпЛА. Як параметри умов можуть розглядатися оцінка оптичної видимості і радіолокаційної контрастності наземних об'єктів у різних метеорологічних умовах, періодах доби і року, характер підстилаючої поверхні (наявність орієнтирів, стан поверхні моря); рівень радіоелектронних завад противника, стан наземної системи радіотехнічного забезпечення; сила і напрямок вітру; зони ураження засобами протиповітряної оборони (ППО) противника; характеристики живучості об'єктів противника, що уражуються та ін.

Під параметрами стану, X , розуміються дані, які характеризують процес функціонування об'єкта управління (групи БпЛА) при його сприйнятті суб'єктом управління (оператором АСУ, командиром, членом екіпажу літака-лідера змішаної групи). Як параметри стану можуть розглядатися узагальнені та ототожені траєкторні дані; характеристики відображення реальних дій групи БпЛА в параметричному просторі варіанта тактики застосування, що реалізується; ступінь вирішення поставлених задач; поточні ризики і ступені загроз; сигнали попередження та ін. Множина значень параметрів стану містить такі області простору станів: область (границя) гранично досяжних станів, X^d ; область бажаних станів, X^* і область припустимих відхилень від бажаних станів, X^{np} . Область гранично-досяжних станів, X^d , характеризує ті значення параметрів стану об'єкта, які можуть бути теоретично реалізованими при встановлених умовах функціонування при заданому управлінні. Область бажаних станів, X^* , включає ті

значення параметрів стану, які характеризують ціль застосування групи БпЛА. Широке коло цільових постановок для групового застосування БпЛА може бути визначено за допомогою рухомої або нерухомої точки у просторі та структури розміщення окремих БпЛА відносно цієї точки. Конкретна формалізація опису цілі функціонування групи залежить від аспектів управління, що враховуються. У статті пропонується метод впорядкування простору аспектів управління, що враховуються, на основі категорійного аналізу. Область припустимих відхилень від бажаних станів, \mathbf{X}^{np} , це сукупність припустимих інтервалів змінення значень параметрів стану, визначених на топології простору параметрів бажаного стану. Згадана топологія та величини припустимих інтервалів також залежать від аспектів управління, що розглядаються. При концептуальному проектуванні АСУ задача проектувальника – максимально повно врахувати такі аспекти. Це дозволить у подальшому легко адаптувати програмне забезпечення АСУ до мінливих умов та можливостей.

Між названими групами даних у системі управління встановлюються різноманітні бінарні відношення і процедури перетворення (відображення), які представлено:

- бінарними відношеннями між дискретними значеннями часу і значеннями параметрів умов функціонування, $s^{ym} : \mathbf{T} \rightarrow \mathbf{S}$. Ці відношення можуть визначатися за допомогою наборів констант, які незмінні протягом встановлених періодів часу; функцій змінення параметрів умов за часом у табличній або аналітичній формі; диференційних рівнянь (систем диференційних рівнянь);

- бінарними відношеннями між дискретними значеннями часу і значеннями параметрів виходу, $u : \mathbf{T} \rightarrow \mathbf{Y}$. Ці відношення також задаються за допомогою наборів констант, наборів таблиць, аналітичних виразів, диференційних рівнянь (систем диференційних рівнянь);

- бінарними відношеннями між дискретними значеннями часу і значеннями параметрів управління, $v : \mathbf{T} \rightarrow \mathbf{U}$. Інакше кажучи, законом управління;

- вибіркою сполучень бажаних значень параметрів стану, параметрів умов і значень часу, $G \subseteq \mathbf{X}^* \times \mathbf{S} \times \mathbf{T}$, яка розглядається як стратегія (тактика) застосування групи БпЛА (трансформація за часом бажаних значень параметрів стану для встановлених умов функціонування);

- бінарними відношеннями між сполученнями значень параметрів управління, параметрів умов і часу та відповідними цим сполученням значеннями теоретично-досяжних параметрів стану, $\mathbf{U} \times \mathbf{S} \times \mathbf{T} \rightarrow \mathbf{X}^a$. Для встановлення такого роду відношень, як правило, використовується модель функціонування об'єкта управління в різноманітних умовах для різних управлінь (модель розрахунку дальності і тривалості польоту);

- бінарними відношеннями між сполученнями значень параметрів стану, параметрів управління, параметрів умов і часу та відповідними цим сполученням прогнозними значеннями параметрів виходу, $\gamma : \mathbf{U} \times \mathbf{S} \times \mathbf{T} \times \mathbf{X} \rightarrow \mathbf{Y}$ (прогноз виходу);

- бінарними відношеннями між сполученнями значень параметрів управління, параметрів стану, параметрів виходу, параметрів умов, значеннями часу, при яких спостерігалися згадані параметри, значеннями поточного часу та відповідними цим сполученням відновленими значеннями параметрів стану, $\varphi : \mathbf{U} \times \mathbf{S} \times \mathbf{Y} \times \mathbf{X} \times \mathbf{T}' \times \mathbf{T} \rightarrow \mathbf{X}$ (відновлення стану за даними виходу). Для встановлення такого роду відношень використовуються моделі трансформації параметрів виходу в параметри стану з урахуванням смислової наповненості процесу застосування у відношенні ЛПР.

Запропонована концептуальна схема інформації може служити основою для подальшого концептуального проектування АСУ, зокрема, для розробки концептуальної моделі бази даних. Однак в описаних результатах міститься ще багато невизначеностей, що потребують уточнення.

Так, якщо для груп даних виходу і умов вже зараз можна сформулювати детальні переліки метрик на підставі можливостей існуючих датчиків телеметричної і бортової інформації, датчиків погоди, різних видів розвідки, то для груп даних стану та управління чіткості ще немає. Неясно, яким саме чином визначати тактику застосування групи, скільки тактик і яких слід враховувати, які критерії успішного вирішення задач, яким саме чином виміряти поточний стан групи БпЛА і окремих БпЛА у відношенні до задач, що вирішуються. На ці питання, як правило, даються відповіді конструктором. Наскільки проєктні рішення, що приймаються, виявляються повними або неповними, залежить від досвіду та обсягу знань ЛПР, його таланту як конструктора. Можна яким-небудь чином допомогти конструктору при формуванні цього параметричного простору? На перший погляд здається, що ні, що ця задача виключно творча, яку не можна формалізувати. Проте, як стверджують автори, можна. Ні в якій мірі не применшуючи прерогативу конструктора як творця, можна впорядкувати його творчу діяльність за рахунок перетворення цілісної задачі синтезу великої розмірності в послідовність аналогічних задач малої розмірності. В основі даного підходу лежить метод категорійного аналізу.

3. Деталізація параметрів стану керованої групи БпЛА на основі інтерпретації категорійних підмножин

Метод категорійного аналізу полягає у прикладанні дедуктивного підходу до процесу багатобічного аналізу цілісності [8]. Метод будується на такому твердженні діалектики, що будь-які об'єкти, системи, процеси, які спостерігаються як цілісність, суть є результат взаємодії протилежностей, що в них містяться [9]. Реальний світ суперечливий. Його розвиток здійснюється через виникнення і розв'язання суперечностей. Тому апарат мислення буде тим ефективніше, чим більшою мірою він ураховує цю властивість [8].

Протилежності цілісності, яка аналізується, визначаються за допомогою відповідних категорійних пар: «Ціле – Часткове»; «Справжнє – Майбутнє»; «Оборона – Напад» та ін. Категорійні пари з необхідністю вимушують на кожному кроці міркувань виявляти і з'ясувати суть відповідних протиріч.

При категорійному аналізі обрана категорійна пара розділяє цілісність, що аналізується, на дві частини у відповідності зі змістом цієї пари. За рахунок цього процес аналізу становиться структурованим (цілеспрямованим). Прикладання до цілісності кількох категорійних пар забезпечує умови її багатобічного (багатоаспектного) аналізу. Наприклад, використання трьох категорійних пар дозволяє здійснити аналіз об'єкта з восьми точок зору (аспектів).

Для категорійного аналізу процесу застосування групи БпЛА авторами були використані такі категорійні пари:

- «Управління – Виконання» («У – В»);
- «Ціле – Частина» («Ц – Ч»);
- «Мета – Засоби» («М – З»);
- «Оборона – Напад» («О – Н»);
- «Активний – Пасивний» («А – П»).

Метод прикладання цих категорійних пар до процесу аналізу полягав у такому.

Процес був поділений на дві частини: «У» і «В». Перша частина «У» розглядає аспект управління або, інакше, прийняття рішень щодо змінення стану об'єкта, формування ідеального (бажаного) стану, до якого необхідно прийти, й підходящої (оптимальної) траєкторії (в самому широкому сенсі) приходу в цей стан. Друга частина «В» розглядає аспект реалізації сформованого управління з урахуванням наявних можливостей, відхилень від ідеальної моделі об'єкта, впливу зовнішнього середовища.

Далі кожна з утворених двох частин розбивалась також на дві частини за допомогою категорійної пари «Ціле – Частина» («Ц – Ч»). Було отримано чотири частини:

«У|Ц», «В|Ч»,
«У|Ч», «В|Ц».

Кожна із чотирьох утворених частин характеризується сполученням двох аспектів аналізу. Наприклад, частина або, інакше, категорійна підмножина, «У|Ц», пропонує проаналізувати процес функціонування групи БпЛА з точки зору формування управління в частині, що стосується управління групою БпЛА в цілому. Категорійна підмножина, «У|Ч» – з точки зору формування управління в частині, що стосується управління окремим БпЛА. Підмножини «В|Ч» і «В|Ц» – з точок зору реалізації сформованого управління окремо узятим БпЛА і групою БпЛА в цілому.

Продовживши поділ утворених частин шляхом прикладання до них категорійних пар, які залишилися, було отримано 32 категорійні підмножини, що характеризують 32 точки зору (аспекти) аналізу інформації щодо оцінки стану групи БпЛА. В табл. 1 приведено інтерпретацію у прикладанні до аналізованого процесу для деяких категорійних підмножин із числа сформованих (табл. 1).

Таблиця 1 – Категорійні підмножини та інтерпретація їх змісту

Категорійна підмножина	Інтерпретація змісту
1. «У Ц З О А»	Визначення необхідного порядку застосування для групи БпЛА в цілому при вирішенні задач активної оборони (знищення або радіоелектронне подавлення наземних (надводних) і повітряних цілей при протидії системі ППО противника у процесі рішення основних задач, ведення розвідки нападаючого противника з використанням активних засобів розвідки)
...	...
8. «У Ц М Н П»	Визначення припустимих границь змінення параметрів порядку застосування (критеріїв успішності застосування) для групи БпЛА в цілому при вирішенні задач «пасивної атаки» (застосування засобів блокування функцій, у тому числі радіоелектронне подавлення наземних (надводних) і повітряних об'єктів (систем, комплексів) противника як рішення основних задач, ведення розвідки противника, що обороняється, з використанням пасивних засобів розвідки)
...	...
11. «У Ч З Н А»	Визначення потрібного порядку застосування (програми польоту) для окремих БпЛА при вирішенні задач «активної атаки» (знищення наземних (надводних) і повітряних сил, засобів, об'єктів інфраструктури і управління противника як рішення основних задач, ведення розвідки противника, що обороняється, з використанням активних засобів розвідки)
...	...
18. «В Ц З О П»	Оцінка характеристик застосування групи БпЛА в цілому, які реалізуються з урахуванням поточних умов і поточного стану БпЛА, системи управління групою БпЛА при вирішенні задач пасивної оборони (зниження ефективності системи ППО противника за рахунок пасивних методів (пасивні завади, зниження помітності, маневрування, живучість конструкції (стійкість роботи бортового комплексу) при впливах, які відбулися) при бойовому функціонуванні, веденні розвідки противника,

	що нападає, з використанням пасивних засобів розвідки)
...	...
32. «В Ч М Н П»	Визначення змінених, у відповідності з поточними умовами і станом БпЛА системи управління групою БпЛА, припустимих границь відхилення від заданих параметрів програми польоту (критеріїв успішності застосування) для окремих БпЛА при вирішенні задач «пасивної атаки» (застосування засобів блокування функцій, у тому числі радіоелектронне подавлення, наземних (надводних) і повітряних об'єктів (систем, комплексів) противника як рішення основних задач, ведення розвідки противника, що обороняється, з використанням пасивних засобів розвідки)

На підставі сформованих аспектів авторами була зроблена деталізація параметрів стану групи БпЛА, \mathbf{X} . Враховуючи обмежений обсяг статті, результати деталізації приведено тільки для однієї (першої) категорійної підмножини («У|Ц|З|О|А»).

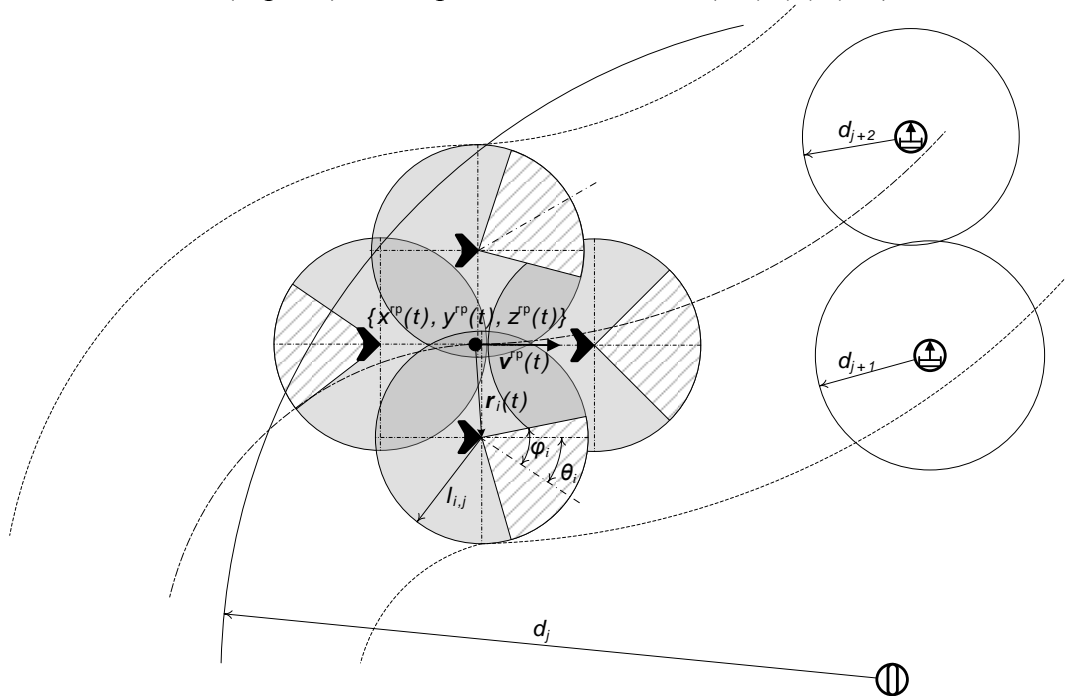


Рисунок 2 – Параметри, що характеризують порядок застосування групи БпЛА при вирішенні задач вогневого ураження, радіоелектронного подавлення засобів противника, якщо ці задачі є супутніми при вирішенні основних задач

Порядок застосування для групи БпЛА в цілому, який задається при вирішенні задач вогневого ураження, радіоелектронного подавлення наземних (надводних) об'єктів противника, якщо ці задачі є супутніми при вирішенні основних задач, може визначатися за допомогою таких метрик (рис. 2):

– координат місцеположення реперної точки групи в установленій інерційній системі координат. Координати задаються за допомогою параметричних функцій, де параметром виступає довжина шляху, s , що проходить група вздовж її траєкторії польоту:

$$\mathbf{R}(s) = (x^{\text{rp}}(s) \quad y^{\text{rp}}(s) \quad z^{\text{rp}}(s))^T; \quad (1)$$

– швидкості переміщення реперної точки

$$\mathbf{v}^{\text{rp}}(s) = (\dot{x}^{\text{rp}}(s) \quad \dot{y}^{\text{rp}}(s) \quad \dot{z}^{\text{rp}}(s))^T; \quad (2)$$

– координат окремих БпЛА відносно реперної точки (в системі координат бойового порядку групи):

$$\mathbf{R}^{\text{б.п.}}(s) = (\mathbf{r}_1(s) \quad \dots \quad \mathbf{r}_i(s) \quad \dots \quad \mathbf{r}_M(s)) = \begin{pmatrix} x_1(s) & \dots & x_i(s) & \dots & x_M(s) \\ y_1(s) & \dots & y_i(s) & \dots & y_M(s) \\ z_1(s) & \dots & z_i(s) & \dots & z_M(s) \end{pmatrix}, \quad (3)$$

де M – кількість БпЛА у групі;

– дальності ведення вогню (застосування засобів РЕБ) бортових комплексів БпЛА групи при вогневому ураженні j -го засобу (об'єкта) ППО противника:

$$\mathbf{L}^{\text{пуск.}} = \begin{pmatrix} l_{1,1}^{\text{пуск.}} & \dots & l_{1,j}^{\text{пуск.}} & \dots & l_{1,N}^{\text{пуск.}} \\ & & \vdots & & \\ l_{i,1}^{\text{пуск.}} & \dots & l_{i,j}^{\text{пуск.}} & \dots & l_{i,N}^{\text{пуск.}} \\ & & \vdots & & \\ l_{M,1}^{\text{пуск.}} & \dots & l_{M,j}^{\text{пуск.}} & \dots & l_{M,N}^{\text{пуск.}} \end{pmatrix}, \quad (4)$$

де N – кількість об'єктів ППО, розташування яких дозволяє вести вогонь по групі БпЛА;

– дальності виявлення наземних (морських) або повітряних об'єктів:

$$\mathbf{L}^{\text{вияв.}} = \begin{pmatrix} l_{1,1}^{\text{вияв.}} & \dots & l_{1,j}^{\text{вияв.}} & \dots & l_{1,N}^{\text{вияв.}} \\ & & \vdots & & \\ l_{i,1}^{\text{вияв.}} & \dots & l_{i,j}^{\text{вияв.}} & \dots & l_{i,N}^{\text{вияв.}} \\ & & \vdots & & \\ l_{M,1}^{\text{вияв.}} & \dots & l_{M,j}^{\text{вияв.}} & \dots & l_{M,N}^{\text{вияв.}} \end{pmatrix}; \quad (5)$$

– кутів повороту і кутів, що визначають розмір секторів ведення вогню (постановки завад) БпЛА зі складу групи:

$$\Theta^{\text{пуск.}} = (\theta_1^{\text{пуск.}} \quad \dots \quad \theta_i^{\text{пуск.}} \quad \dots \quad \theta_M^{\text{пуск.}})^T, \quad (6)$$

$$\Phi^{\text{пуск.}} = (\varphi_1^{\text{пуск.}} \quad \dots \quad \varphi_i^{\text{пуск.}} \quad \dots \quad \varphi_M^{\text{пуск.}})^T; \quad (7)$$

– кутів повороту і кутів, що визначають розмір секторів розвідки повітряного і наземного (надводного) простору БпЛА:

$$\Theta^{\text{вияв.}} = (\theta_1^{\text{вияв.}} \quad \dots \quad \theta_i^{\text{вияв.}} \quad \dots \quad \theta_M^{\text{вияв.}})^T, \quad (8)$$

$$\Phi^{\text{вияв.}} = (\varphi_1^{\text{вияв.}} \quad \dots \quad \varphi_i^{\text{вияв.}} \quad \dots \quad \varphi_M^{\text{вияв.}})^T; \quad (9)$$

– розподілу бойового комплексу і бортових комплексів по БпЛА групи та встановленою відносною часткою бойового комплексу, який може бути витрачений на вогневе ураження (подавлення) засобів ППО противника:

$$\hat{\Xi}^{\text{б.к.}} = \Xi^{\text{б.к.}} \times \Omega = \begin{pmatrix} n_{1,1}^{\text{б.к.}} & \dots & n_{1,k}^{\text{б.к.}} & \dots & n_{1,K}^{\text{б.к.}} \\ & & \vdots & & \\ n_{i,1}^{\text{б.к.}} & \dots & n_{i,k}^{\text{б.к.}} & \dots & n_{i,K}^{\text{б.к.}} \\ & & \vdots & & \\ n_{M,1}^{\text{б.к.}} & \dots & n_{M,k}^{\text{б.к.}} & \dots & n_{M,K}^{\text{б.к.}} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \omega_1 \\ \vdots \\ \omega_k \\ \vdots \\ \omega_K \end{pmatrix}, \quad (10)$$

$$\Xi^{\text{облад.}} = \begin{pmatrix} \delta_{1,1}^{\text{облад.}} & \dots & \delta_{1,h}^{\text{облад.}} & \dots & \delta_{1,H}^{\text{облад.}} \\ & & \vdots & & \\ \delta_{i,1}^{\text{облад.}} & \dots & \delta_{i,h}^{\text{облад.}} & \dots & \delta_{i,H}^{\text{облад.}} \\ & & \vdots & & \\ \delta_{M,1}^{\text{облад.}} & \dots & \delta_{M,h}^{\text{облад.}} & \dots & \delta_{M,H}^{\text{облад.}} \end{pmatrix}, \quad (11)$$

де $\Xi^{\text{б.к.}}$ – матриця розподілу боєкомплекту по БпЛА групи;

Ω – вектор встановлених норм розходу боєкомплекту за типами засобів ураження на вирішення задач прориву ППО;

$\hat{\Xi}^{\text{б.к.}}$ – кількість засобів ураження за їх типами та за окремими БпЛА групи, які можуть бути витраченими на прорив ППО;

$\Xi^{\text{облад.}}$ – матриця розподілу обладнання за БпЛА групи, $\delta_{i,h}^{\text{облад.}}$ – ознака наявності у складі бортового комплексу i -го БпЛА обладнання h -го типу;

K, H – кількість типів засобів ураження і типів обладнання відповідно;

– кількістю ефективних вогневих впливів із боку засобів ППО по групі БпЛА при її польоті за встановленим маршрутом:

$$\Psi^{\text{ПВО}}(s) = (m_1(s) \quad \dots \quad m_j(s) \quad \dots \quad m_N(s))^T, \quad (12)$$

$$m_j(s) = \int_{s_0}^s \frac{\delta_j^{\text{к.к.}}(s) \cdot n_j^{\text{к.к.}}}{\tau_j^{\text{п.к.}} \cdot v^{\text{гп}}(s)} ds \cdot p_{1j}, \quad (13)$$

де $m_j(s)$ – потенційно можлива кількість вогневих впливів по групі БпЛА з j -ої позиції системи ППО противника;

$\delta_j^{\text{к.к.}}(s)$ – ознака попадання групи в область ведення вогню засобів ППО, що знаходяться на j -ій позиції;

$n_j^{\text{к.к.}}$ – кількість вогневих каналів (каналів наведення) на j -ій позиції;

$\tau_j^{\text{п.к.}}$ – цикл стрільби j -го засобу;

p_{1j} – ймовірність ураження БпЛА при одиничному впливі з боку j -го засобу;

– втратами групи БпЛА, що очікуються від вогню ППО противника:

$$M^{\text{п.к.}}(s) = 1 - \prod_{j=1}^N (1 - p_{1j})^{m_j(s)}, \quad (14)$$

– рівнем послаблення дії засобів ППО противника, що прогнозується для заданої норми розходу боєкомплекту, розподілом бортових комплексів по БпЛА і встановленим бойовим порядком групи:

$$\mathbf{W}^{\text{ослбл.}}(s, \hat{\Xi}^{\text{б.к.}}, \Xi^{\text{облад.}}, \mathbf{R}^{\text{б.п.}}, \Theta^{\text{пуск.}}, \Phi^{\text{пуск.}}, \Theta^{\text{вияв.}}, \Phi^{\text{вияв.}}, \mathbf{L}^{\text{пуск.}}, \mathbf{L}^{\text{вияв.}}) = \{w_j\}, \quad (15)$$

де w_j – відносне зменшення кількості ефективних впливів із боку засобів ППО, які є на j -ій позиції.

Показники (1)–(11) характеризують порядок застосування групи. В деяких випадках їх можна розглядати як параметри управління (бажаної стратегії), змінюючи які особа, що приймає рішення (ОПР), здійснює управління результативністю застосування групи, яка вимірюється за допомогою показників (12)–(15).

Сформовані показники характеризують стан групи БпЛА стосовно до процесів управління групою під час вирішення задач подолання ППО противника. Аналогічним чином можуть бути сформованими решта чисельних показників, що відносяться до інших аспектів управління групою БпЛА (табл. 1). Сформований у такий спосіб параметричний простір буде відносно повним для категорійних пар, що розглядаються. Об'єкт управління в інформаційному відношенні буде представлений системою метрик, яка дозволить здійснювати кількісні оцінки дій, що проводяться, з урахуванням отриманого різноманіття аспектів.

Даний результат (багатоаспектність) не означає, що конкретне управління, яке проводиться в конкретних умовах, має будуватися на повному наборі параметрів стану. Для конкретного випадку повинні враховуватися лише ті параметри, які притаманні тому аспекту управління, який є актуальним. Однак база даних АСУ, яка проектується, повинна містити повне різноманіття аспектів або має будуватися на повномірному просторі управління, дозволяючи адаптувати формалізовані процедури управління до мінливих умов і управлінських задач.

Наступним кроком при концептуальному проектуванні АСУ є крок встановлення формалізованих процедур спеціального програмного забезпечення (СПЗ) для перетворення даних. Нижче, на прикладі досліджуваного аспекту управління групою БпЛА щодо рішення задач подолання ППО визначено формалізовані процедури СПЗ, які забезпечують реалізацію інформаційних відношень та перетворень між групами даних.

4. Визначення процедур перетворення даних

Визначення процедур СПЗ зручно здійснювати на основі концептуальної схеми інформації в АСУ групою БпЛА (рис. 1).

Оскільки категорійна підмножина «У|Ц|З|О|А» розглядає аспект прийняття рішення на застосування, тобто планування (програмування) дій перед функціонуванням, тут слід визначити процедури двох груп:

- формування стратегії (тактики) застосування групи БпЛА, $G \subseteq \mathbf{X}^* \times \mathbf{S} \times \mathbf{T}$;
- формування теоретично досяжних параметрів стану, $\mathbf{U} \times \mathbf{S} \times \mathbf{T} \rightarrow \mathbf{X}^*$.

Для сформованих показників стану (1)–(15) до процедур першої групи слід віднести:

– визначення маршруту, профіля, режиму польоту і бойового порядку групи БпЛА при подоланні ППО противника з використанням вогневого і радіоелектронного подавлення його засобів, якщо задані параметри порядку застосування групи. В формалізованій формі процедура запишеться як

$$\int_{s_0}^{s_{\text{end}}} \|\Psi^{\text{ППО}}(s)\| ds = \min,$$

$$\mathbf{v}^{\text{гп}^*} \in \mathbf{V}^{\text{гп}^*}(\mathbf{R}, s), \quad \mathbf{R}^*(s) \in \mathbf{R}^{\text{гп}^*}, \quad \mathbf{R}^{\text{б.п.}^*}(s) \in \mathbf{R}^{\text{б.п.}^*},$$

$$\Theta^{\text{пуск}^*} \in \Theta^{\text{пуск}^*}, \quad \Phi^{\text{пуск}^*} \in \Phi^{\text{пуск}^*}, \quad (16)$$

$$\Theta^{\text{вияв.}^*} \in \Theta^{\text{вияв.}^{\text{пр.}}}, \quad \Phi^{\text{вияв.}^*} \in \Phi^{\text{вияв.}^{\text{пр.}}},$$

$$\mathbf{L}^{\text{пуск.}} = \mathbf{L}^{\text{пуск.}^{\text{зн}}}, \quad \mathbf{L}^{\text{вияв.}} = \mathbf{L}^{\text{вияв.}^{\text{зн}}},$$

$$\Xi^{\text{б.к.}} = \Xi^{\text{б.к.}^{\text{зн}}}, \quad \Omega = \Omega^{\text{зн}}, \quad \Xi^{\text{облад.}} = \Xi^{\text{облад.}^{\text{зн}}}, \quad \Xi^{\text{ППО}} = \Xi^{\text{ППО}^{\text{зн}}},$$

де $\Xi^{\text{ППО}^{\text{зн}}}$ – задані дані щодо системи ППО противника (пункти базування, позиції, типи і кількість засобів);

$\mathbf{V}^{\text{пр.}}(\mathbf{R}, s), \mathbf{R}^{\text{пр.}}, \mathbf{R}^{\text{б.п.}^{\text{пр.}}}, \Theta^{\text{пуск.}^{\text{пр.}}}, \Phi^{\text{пуск.}^{\text{пр.}}}, \Theta^{\text{вияв.}^{\text{пр.}}}, \Phi^{\text{вияв.}^{\text{пр.}}}$ – області припустимих значень параметрів для маршрутів, профілів і швидкості польоту, бойових порядків групи БпЛА;

$\mathbf{L}^{\text{пуск.}^{\text{зн}}}, \mathbf{L}^{\text{вияв.}^{\text{зн}}}, \Xi^{\text{б.к.}^{\text{зн}}}, \Omega^{\text{зн}}, \Xi^{\text{облад.}^{\text{зн}}}$ – задані параметри порядку застосування групи.

ОПР для встановленого варіанта порядку застосування групи БпЛА (розподілу бойового комплекту і обладнання за БпЛА, встановленої норми розходу боєкомплекту на вогневе ураження засобів ППО противника) при заданій ППО противника визначає маршрут, профіль, режими польоту і бойовий порядок (розташування відносно реперної точки, направлення і ширину секторів розвідки ведення вогню, постановку завад бортовими засобами) групи БпЛА, які доставляють мінімум норми вектора ефективних впливів із боку ППО противника при проходженні маршруту групою БпЛА. Тобто здійснюється програмування польоту групи БпЛА в цілому, включаючи маневрування за висотою, направленням, швидкістю польоту, перестроєння БпЛА, включення (виключення) їх бортових комплексів. Як критерій вибору програми замість норми $\|\Psi^{\text{ППО}}(s)\|$ також може бути використана величина втрат, що очікуються:

$$\int_{s_0}^{s_{\text{end}}} M^{\text{п}}(s) ds = \min, \quad (17)$$

або норма вектора прогнозованого рівня ослаблення дії засобів ППО противника:

$$\int_{s_0}^{s_{\text{end}}} \|\mathbf{W}^{\text{ослбл.}}(s)\| ds = \min; \quad (18)$$

– визначення порядку застосування групи БпЛА (розподіл бойового комплекту і обладнання по БпЛА, встановленої норми розходу боєкомплекту на вогневе ураження засобів ППО противника) при установленому маршруті, профілі, режимі польоту і бойовому порядку групи. В формалізованій формі процедура запишеться як

$$\|\Omega\| = \min,$$

$$\mathbf{L}^{\text{пуск.}^*} \in \mathbf{L}^{\text{пуск.}^{\text{пр.}}}, \quad \mathbf{L}^{\text{вияв.}^*} \in \mathbf{L}^{\text{вияв.}^{\text{пр.}}},$$

$$\Xi^{\text{б.к.}^*} \in \Xi^{\text{б.к.}^{\text{пр.}}}, \quad \Xi^{\text{облад.}^*} \in \Xi^{\text{облад.}^{\text{пр.}}},$$

$$\mathbf{v}^{\text{пр.}}(s) = \mathbf{v}^{\text{пр.}^*}(s), \quad \mathbf{R}(s) = \mathbf{R}^*(s), \quad \mathbf{R}^{\text{б.п.}}(s) = \mathbf{R}^{\text{б.п.}^*}(s), \quad (19)$$

$$\Theta^{\text{пуск.}} = \Theta^{\text{пуск.}^*}, \quad \Phi^{\text{пуск.}} \in \Phi^{\text{пуск.}^*},$$

$$\Theta^{\text{вияв.}} = \Theta^{\text{вияв.}^*}, \quad \Phi^{\text{вияв.}} \in \Phi^{\text{вияв.}^*}, \quad \Xi^{\text{ППО}} = \Xi^{\text{ППО}^{\text{зн}}}.$$

ОПР для заданого маршруту, профіля, режиму польоту і бойового порядку групи, при заданій ППО противника, визначає параметри порядку застосування групи БпЛА при

подоланні ППО противника, які мінімізують норму розходу бойового комплексу на вогневе подавлення засобів ППО;

– визначення характеристик результативності взаємного вогневого впливу і радіоелектронного подавлення БпЛА групи і засобів ППО противника в залежності від встановленого маршруту, профілю, режимів польоту, бойового порядку групи, порядку її застосування, а також характеристик системи ППО противника:

$$\begin{aligned} W^{\text{ослбл.}} &= W^{\text{ослбл.}}(s, \hat{E}^{\text{б.к.}}, E^{\text{облад.}}, R^{\text{б.п.}}, \Theta^{\text{пуск.}}, \Phi^{\text{пуск.}}, \Theta^{\text{вияв.}}, \Phi^{\text{вияв.}}, L^{\text{пуск.}}, L^{\text{вияв.}}), \\ M^{\text{п}} &= M^{\text{п}}(s, \hat{E}^{\text{б.к.}}, E^{\text{облад.}}, R^{\text{б.п.}}, \Theta^{\text{пуск.}}, \Phi^{\text{пуск.}}, \Theta^{\text{вияв.}}, \Phi^{\text{вияв.}}, L^{\text{пуск.}}, L^{\text{вияв.}}), \\ \Psi^{\text{ППО}} &= \Psi^{\text{ППО}}(s, \hat{E}^{\text{б.к.}}, E^{\text{облад.}}, R^{\text{б.п.}}, \Theta^{\text{пуск.}}, \Phi^{\text{пуск.}}, \Theta^{\text{вияв.}}, \Phi^{\text{вияв.}}, L^{\text{пуск.}}, L^{\text{вияв.}}). \end{aligned} \quad (20)$$

До другої групи процедур (визначення теоретично досяжних параметрів стану) слід віднести:

– визначення границь досяжності (максимальної тривалості польоту) групи БпЛА при встановлених режимах польоту;

– визначення границь області ведення вогню, подавлення радіоелектронних засобів і ведення розвідки для бортових засобів (систем, комплексів) БпЛА;

– визначення границь областей ведення вогню зенітними ракетними підрозділами, подавлення бортових радіоелектронних засобів БпЛА підрозділами РЕБ, розвідки повітряного простору радіотехнічними підрозділами, наведення і досяжності винищувальної авіації ППО противника при встановленому порядку застосування групи БпЛА.

За аналогією з наведеним прикладом визначаються процедури СПЗ для інших категорійних підмножин. Ці процедури формують повний набір процедур, на основі яких створюються поліаспектні процедурні регламенти АСУ. Далі створені процедурні регламенти розподіляються за пристроями системи управління. Як пристрій розуміються окремі функціонери (оператори), що застосовують засоби автоматизації, технічні засоби обробки і перетворення інформації (наприклад, бортовий обчислювальний комплекс БпЛА). Після цього вважається, що концепцію перспективної АСУ сформовано.

На практиці, звичайно, проектування АСУ починається одразу з етапу встановлення процедурних регламентів та їх розподілення за пристроями, минаючи формування концепції інформації і створення параметричного простору управління. Такий підхід базується на постулаті використання прототипу, де виступає управлінська практика, що має місце. При відсутності такої, якщо створюється система управління новим об'єктом, як прототип розглядаються близькі за змістом аналогі управлінських структур, що існують. Однак при цьому гостро постає проблема повноти інформації, на основі якої проектується нова АСУ. Немає ніяких гарантій, що через деякий час не доведеться допрацьовувати СПЗ створеної АСУ, оскільки спочатку не було враховано аспекти управління, які раніше були не очевидні, але потім виявилася їх практична важливість. Не завжди такий еволюційний процес розвитку створених АСУ є економічно доцільним і технологічно здійсненним.

Безумовно, метод формування параметричного простору, що пропонується на основі категорійного аналізу, сам по собі не дає гарантії повноти. Метрики оцінки стану, що формуються, залежать від суб'єктивного вибору набору категорійних пар, які використовуються. Так, в нашому випадку поза аналізом виявився аспект взаємодії групи БпЛА з зовнішньою інфраструктурою наземного та повітряного базування щодо інформаційного, навігаційного та бойового забезпечення, управління застосуванням групи. Тобто доцільно було б доповнити категорійні підмножини за рахунок прикладання до аналізованої цілісності такої категорійної пари, як «Внутрішнє – Зовнішнє» («Вн – Зв»). Але автори ставили за мету в цій статті не отримання повномірної концепції АСУ групою БпЛА, а демонстрацію ефективності пропонованого методу при такому проектуванні.

5. Заключення

Таким чином, у статті представлено методологію концептуального проектування АСУ на прикладі АСУ групою БпЛА. Показано основні етапи створення концепції системи управління, які містять формування параметричного простору управління на основі конструктивної схеми груп даних і процедур інформаційної взаємодії. Розкрито проблему забезпечення повноти інформації й показаний спосіб її подолання на основі методу категорійного аналізу.

Метод категорійного аналізу дозволяє впорядкувати міркування творця перспективної АСУ, задаючи структуру цих міркувань та знижуючи розмірність часткових задач проектування. При цьому за рахунок урахування основної гносеологічної особливості аналізу (цілісність суть є результат розв'язання протиріч між її протилежностями) забезпечується повнота аспектів аналізу незалежно від суб'єктивних особливостей мислення конструктора.

Суб'єктивізм стосовно рішення проблеми забезпечення повноти інформації, що використовується в АСУ, яка проектується, переноситься з рівня визначення метрик параметричного простору управління, яке має досить велику розмірність та важко піддається суб'єктивному сприйняттю людиною як єдиної цілісності, на рівень вибору категорійних пар, що визначають протилежності процесу, що досліджується. Сприйняття цілісності як системи категорійних підмножин суттєво простіше в силу порівняльно невеликої розмірності такого образу.

У статті показаний приклад формування параметрів стану групи БпЛА при сприйнятті процесу її застосування суб'єктом, що керує, з точки зору подолання ППО противника з використанням тактики вогневого ураження і радіоелектронного подавлення засобів противника. Запропонований перелік чисельних метрик містить параметри, які визначають маршрут, профіль, режим польоту, бойовий порядок (побудову), порядок застосування групи БпЛА, а також результативність, що досягається.

Для сформованого параметричного простору запропоновані процедури управління, які містять формування стратегії (тактики) застосування групи і формування теоретично досяжних параметрів стану.

Представлені у статті результати доцільно використовувати при концептуальному аналізі та проектуванні перспективних АСУ у відсутності структурованої постановки задач конструювання.

Використання методу категорійного аналізу дозволяє суттєво скоротити період окреслювання необхідних областей досліджень, а також сприяє виходу на передові рубежі проблематики в цих областях.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Клир Дж. Системология. Автоматизация решения системных задач / пер. с англ. М.: Радио и связь, 1990. 544 с.
2. Тейц А., Грибмон П., Луи Ж. и др. Логический подход к искусственному интеллекту: от классической логики к логическому программированию / пер. с фр. М., 1990. 432 с.
3. Бурбаки Н. Теория множеств. М.: Мир, 1965. 456 с.
4. Никаноров С.П. Концептуальное проектирование организаций как средство решения проблем управляемости. *Проектирование организаций: труды ЦНИПИАСС*. М., 1977. Вып. 17. С. 17–19.
5. Болдинг К. Общая теория систем как скелет науки. *Исследования по общей теории систем*. М.: Прогресс, 1969. С. 106–124.
6. Никаноров С.П. Характеристика и область применения метода концептуального проектирования систем организационного управления. *Концептуальное проектирование систем организационного управления и его применение в области капитального строительства*. М.: ЦНИИЕУС, 1990. С. 8–29.

7. Никаноров С.П., Никитина Н.К., Теслинов А.Г. Введение в концептуальное проектирование АСУ: анализ и синтез структур. М.: Концепт, 2007. 235 с.
8. Гвардейцев М.И., Кузнецов П.Г., Розенберг В.Я. Математическое обеспечение управления. Меры развития общества. М.: Радио и связь, 1996. 176 с.
9. Ильенков Э.В. Диалектика абстрактного и конкретного в научно-теоретическом мышлении. *Российская политическая энциклопедия (РОССПЭН)*. М., 1997. 464 с.

Стаття надійшла до редакції 12.10.2020