

УДК 629.7.015: 533.69.048.5

DOI: <https://doi.org/10.20535/0203-37714820243180524>Ю. І. Бондар<sup>1</sup>, к.т.н., доцент

## СТРУКТУРИЗАЦІЯ ПОТОКІВ ІНФОРМАЦІЇ ОПТИМАЛЬНОГО ПРОЕКТУВАННЯ АВІАЦІЙНИХ КОНСТРУКЦІЙ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

**Ua**

Розглянуто задачу структуризації потоків інформації, які забезпечують процес проектування літака транспортної категорії для створення стратегії оптимального проектування авіаційних конструкцій із використанням штучного інтелекту. Задача створення стратегій оптимального проектування авіаційних конструкцій, на даний час, вирішено частково. Ця задача потребує створення додаткової оптимізаційно-інформаційної технології, яка дозволяє передати окремі задачі проектування від людини до штучного інтелекту.

Штучний інтелект повинен розвантажити людину у вирішенні складних задач, зменшувати час на проектування нових повітряних суден та підвищувати їхню ефективність.

**En**

The task of structuring information flows that provide the process of designing a transport category aircraft for creating a strategy for optimal design of aviation structures using artificial intelligence is considered. The task of creating strategies for the optimal design of aircraft structures is currently partially solved. This task requires the creation of additional optimization and information technology, which allows transferring individual design tasks from humans to artificial intelligence.

Artificial intelligence should relieve people in solving complex problems, reduce the time for designing new aircraft and increase their efficiency.

### Вступ

Штучний інтелект (ШІ, англ. *Artificial intelligence*) — це галузь інформатики, яка займається розробкою інтелектуальних машин, здатних виконувати завдання, які зазвичай потребують людського інтелекту [1].

Властивістю ШІ, як інформаційної системи, є здатність отримувати, зберігати та використовувати нову інформацію, тобто знання, для вирішення поставленої задачі.

Загальними проблемами створення ШІ в Україні займається вчені Глибовець М. М. та Олецький О. В. [2]. Проблема подання й обробки знань у системах штучного інтелекту освітлена у роботі Субботіна С. О. [3]. Найбільшу увагу розвитку інтелектуальних систем та нейронних мереж приділяють вчені Литвин В. В., Пасічник В. В. та Яцишин Ю. В. [4], Нестеренко О. В., Савенков О. І., Фаловський О. О. [5], Шаров С. В., Лубко Д. В., Осадчий В. В. [6]. Треба зазначити, що наведені ро-

<sup>1</sup> КПІ ім. Ігоря Сікорського

боти присвячені важливій темі – висвітлення загальних напрямків розвитку ШІ, термінології та є відмінними підручними з ШІ.

Більш наближене до технічного використання ШІ надані в роботі Савчука Т. О. [7]. Нейроподібні методи ущільнення зображень подані у роботі Майданюка В. П., Кожемяко К. В., Арсенюка І. Р. [8]. Застосуванню штучних нейронних мереж присвячена робота Олефіра А. О. [9].

Нажаль, використання ШІ в проектуванні авіаційних об'єктів в Україні не помічено. Можливо ця непомітність пов'язана з умовами війни, або інше.

Світова практика використання ШІ в авіації – не помітна або не афішується.

Задача створення стратегій оптимального проектування авіаційних конструкцій на базі ШІ, на даний час, знаходиться у процесі створення і вирішена частково. Ця задача потребує додаткової оптимізаційно-інформаційної технології, яка дозволяє передати окремі задачі проектування від людини до ШІ.

Технологія використання ШІ у проектуванні повітряних суден транспортної категорії повинна базуватися на використанні алгоритмів та машинного навчання для автоматизації етапів проектування і виробництва авіаційної техніки.

Проблемою використання таких алгоритмів є обробка великої кількості інформації. Частина цієї інформації є вхідною, а решта – це результати роботи алгоритмів, що використовуються у методах проектування.

Взаємодія вхідної та вихідної інформації, як правило, має алгоритм типу  $IF \rightarrow THEN \rightarrow ELSE$ , що базується на критеріях прийняття рішень у проектуванні і є основою створення комп'ютерних інтелектуальних систем.

Працюючи по такому алгоритму, розв'язання технічної проблеми проектування може дати не однозначний результат та займає багато часу на прийняття остаточного рішення, що визначається людською логікою та інтелектом. ШІ повинен розвантажити людину у вирішенні складних задач, зменшувати час на проектування нових повітряних суден та підвищувати їхню ефективність.

### **Постановка задачі**

Необхідно дослідити та визначити місце ШІ у проектуванні літальних апаратів шляхом структуризації процесу проектування по задачам та потокам інформації з метою виявлення проблем, які можна передати ШІ, розвантаживши конструктора.

Метою статті є структуризація потоків інформації, які забезпечують інформаційне наповнення ШІ із метою використання у процесі оптимального проектування літака транспортної категорії. Оптимальне проектуван-

ня базується на комплексі заходів по оптимізації технічних, економічних та експлуатаційних параметрів літака, які впливають на ефективність, надійність, безпеку та конкурентоспроможність повітряного судна. Структуризовані потоки використовуються у стратегії оптимального проектування авіаційних конструкцій із використанням ІІІ. У статті розглянуто найперший, початковий рівень потоків інформації пов'язаних із ескізним проектуванням, автоматизацією виробничих процесів та задачами предикативної аналітики та предикативним технічним обслуговуванням.

### **Основний зміст**

Основними критеріями оптимізації прийнято:

1. Мінімізація аеродинамічного опору; оптимізація підйомної сили; покращення аеродинамічної ефективності планера.
2. Мінімізація маси літака; оптимізація напружено-деформованого стану, ресурсу, надійності та довговічності конструкції;
3. Покращення динамічних характеристик, стійкості та керованості літака.
4. Збільшення корисного навантаження; оптимізація внутрішнього простору для перевезення максимальної кількості вантажу або пасажирів за мінімальних витрат палива; збільшення дальності польоту.
5. Покращення технологічності виробництва шляхом автоматизації виробничих процесів.
6. Економічна ефективність, зменшення витрати на експлуатацію; ефективність витрат палива; зменшення вартості виробництва.
7. Безпека та надійність систем.

Основними напрямками оптимізації є:

- дизайн та компоновка літака;
- аеродинамічні дослідження ;
- дослідження навантажень, міцності та напружено-деформованого стану;
- вирішення задач ресурсу, втоми матеріалів конструкції, зародження та поширення тріщин, довговічність.

Вважаючи на означені напрямки, під час проектування літальних апаратів штучний інтелект (ІІІ) може виконувати групи завдань:

Група 1. *Генеративний дизайн.*

- Створення математичних моделей зовнішніх контурів та компонентів літака.

Група 2. *Оптимізація проектування.*

- Генерація варіантів та модифікацій конструкції з урахуванням вимог і обмежень.

- Оптимізація аеродинамічних поверхонь літака (крила, фюзеляж) та інших компонентів із метою покращення аеродинамічних характеристик.
- Моделювання експлуатаційних характеристики літального апарату в умовах виконання завдань та місій ще на етапі ескізного проектування, що значно знижує витрати на майбутні випробування.

*Група 3. Моделювання і симуляції.*

- Аеродинамічні дослідження без використання фізичних прототипів.
- Моделювання статичних, динамічних та ресурсних випробувань. Автоматизоване управління процесом симуляції, що дозволяє швидше досягти оптимальних результатів.
- Визначення напружено-деформований стану конструкції на основі скінченно-елементного аналізу.

*Група 4. Автоматизація виробничих процесів.*

- Тандемна робота ШІ та роботизованих систем виготовлення та складання компонентів літаків.
- Контроль якості виробництва.

*Група 5. Безпека та оптимізація польотів*

- Автоматичне управління на основі систем ШІ з метою допомоги екіпажу у прийнятті рішень під час польотів у критичних умовах.
- Оптимізація маршрутів польоту на основі аналізу даних польотів і метеорологічних умов.

*Група 6. Підвищення ефективності обслуговування.*

- Аналіз даних про роботу літака за умов реального часу і генерація рекомендацій щодо його технічного обслуговування.
- Подовження термінів льотної придатності для літаків, що знаходяться в тривалій експлуатації та забезпечення достатніх ресурсних характеристик літака.

*Група 7. Предикативна аналітика та предикативне технічне обслуговування (прогнозування технічного стану), роботоспроможності систем і компонентів літаків у реальних умовах експлуатації).*

- Прогнозування довговічності, зносу і надійності систем.
- Оптимізація експлуатаційних витрат з метою покращення економіки літака, як одиниці авіаційного комплексу.

Найбільш конкурентною серед означених груп є група 7, яка пов'язана із життєвим циклом літака, як складової авіаційного комплексу.

Прогнозуванням технічного стану (ПТС) (предикативна аналітика і предикативне технічне обслуговування) забезпечує прогноз технічного стану авіаційної конструкції та систем у майбутніх періодах експлуатації.

III прогнозування надає оперативну можливість вчасно попередити та уникнути катастрофічних ситуацій та їх наслідків. ПТС існує на базі CALS-технологій (*Continuous Acquisition and Life cycle Support*), віртуального середовища в межах якого відбувається інтегрування та інформаційно-технологічна взаємодія в ланцюзі Постачальник-Споживач. Але, за умов застосування III результативність такої технології стане кращою, коли виникають нові підходи для впровадження предикативної (прогнозної) аналітики за використання штучного інтелекту та нейронних мереж.

У цій ситуації поняття Аналітика – це процес визначення та передачі специфікованих закономірностей та даних (відповідно до завдання) у корпоративних, виробничих та клієнтських відношеннях.

Перехід підприємства від поточного опрацювання даних до програми корпоративної науково – прогнозованої платформи даних отримає значну конкурентну перевагу. Це перехід, від звітування про історичну або поточну інформацію, до прийняття рішень за допомогою штучного інтелекту, включаючи аналіз раніше не вивчених, архівних, «сірих» даних.

### **Вимоги до структурної організації III у проектуванні літака**

У структурній організації III чільне місце посідає компонент інформаційного забезпечення – БАЗА ЗНАНЬ (БЗ), як сукупність даних (програми, розрахункові схеми літального апарату (ЛА), розрахункові дані (РД), експериментальні данні (ЕД), бібліотеки модулів, таблиці, графіки тощо), необхідної підтримки технологічного циклу проведення проектних робіт [10]. Розподіл баз даних (БД) у структурі III визначається видом інформації [11], яка у них зберігається: локальні БД знаходяться на робочих місцях (РМ) інженерів, які ведуть розрахункові та експериментальні роботи, а загальнодоступні (експериментальна інформація, вихідні документи) – на сервері. Схема взаємодії інформаційних підсистем III у проектних роботах показано на рис. 1.

Тому слід враховувати, що:

- існує територіальна та функціональна розосередженість апаратних засобів, що підтримують технологію III;
- є необхідність у колективному використанні розрахункової та експериментальної інформації фахівцями та подальшій передачі готових проектних рішень до БД;
- є велика кількість оперативної та довідкової інформації у вигляді паперових та мікрографічних документів;
- технологія III повинна мати задану швидкість пошуку та доступу до даних, достатню надійністю їх зберігання.

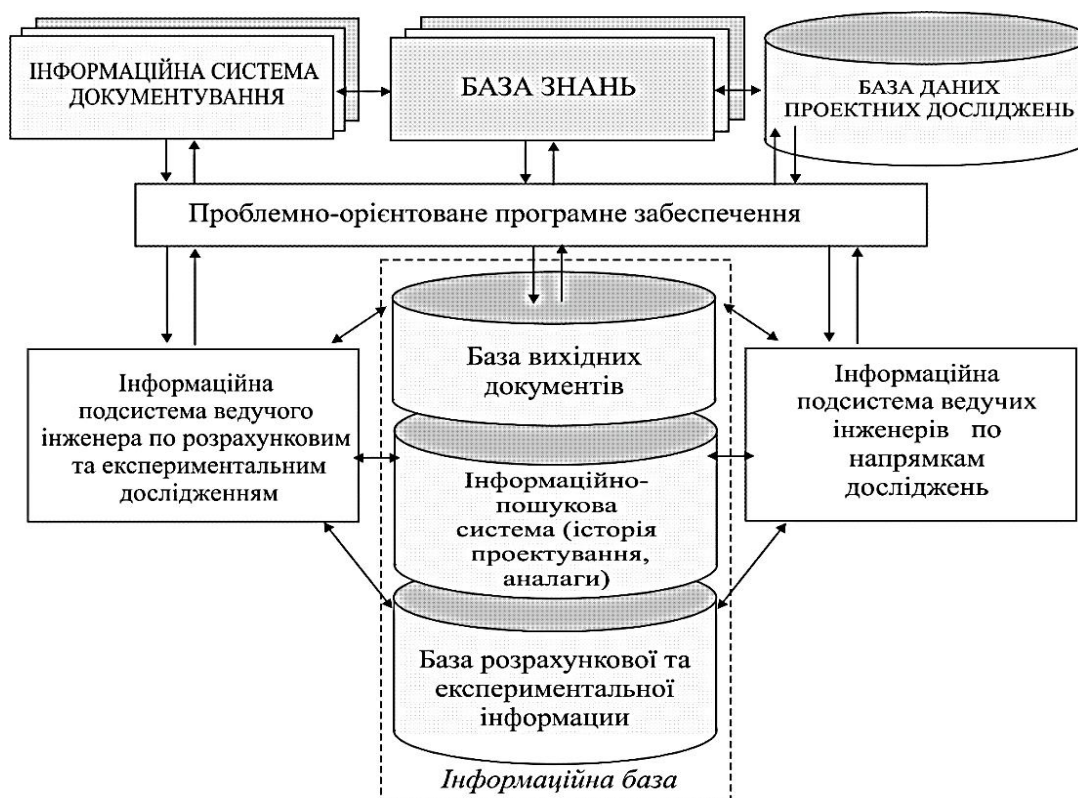


Рис. 1. Схема взаємодії інформаційних підсистем ІІ

Аналіз взаємодії моделей БД [12] дозволяє виділити вимоги до технології проектування та інформаційного забезпечення:

- повнота забезпеченості даними всіх учасників проектування ЛА відповідно до їх цілей, завдань та функцій;
- доступність використання розрахункової та експериментальної інформації для всіх інженерів відповідно до їх завдань та пріоритету, наявності відповідних прав на користування даними;
- захищеність інформації;
- регламентація черговості, режимів звернення користувачів до системи та процесу обміну даними між різними моделями;
- уніфікація та стандартизація форм, видів та типів передач та обміну даними між інженерами та користувачами готових проектних рішень;

Принципами структурної організації ІІ є:

- модульна побудова;
- системна єдність,
- комплексність (пов'язаність розробки окремих модулів та програмного забезпечення (ПЗ) загалом);
- сумісність (мови програмування, зв'язки між модулями повинні забезпечувати спільне їхнє функціонування із збереженням відкритості структури ПЗ);

- адаптація до різних конфігурацій персонального комп'ютера (ПК) та операційним системам.

### Інформаційне забезпечення баз даних III

На стадіях ескізного проектування є задача інформаційного забезпечення проектних досліджень (ЗПД) та вибору загальносистемного та прикладного програмного забезпечення (ПЗ).

Алгоритм інформаційного забезпечення бази даних III передбачає виконання послідовності операцій відповідно до схеми на рис. 2.



Рис. 2. Алгоритм інформаційного забезпечення III на стадії ескізного проектування

Необхідно забезпечити процес проектування пакетом прикладних програм (ППП), призначених для здійснення автоматизованої технології чисельних та експериментальних досліджень. Інформаційне забезпечення III ППС класифікується як сукупність:

- технологічних даних:  $(T_{jk}, j = 1, \dots, m; k = 1, \dots, n)$ ;
- розрахунково-експериментальних даних:  $(\{Di\}k, i = 1, \dots, g)$ ;
- програмних  $(Q)$  даних [13].

Вибір загальносистемного ПЗ пов'язаний із використанням стандартних та спеціальних телекомунікаційних методів доступу та передачі інформаційних потоків. Кінцевим завданням вважається створення розрхова-

ної на багато користувачів системи, що працює в режимі реального часу і мультипрограмності.

Кожен етап проектування забезпечений певним прикладним ПЗ, яке включає послідовне вирішення таких питань:

- визначення набору типових (стандартних) програм та підпрограм;
- визначення списку програм та підпрограм, які необхідно розробити;
- визначення обсягу розв'язуваних завдань із урахуванням зовнішніх зв'язків із іншими системами.

### Технологія обчислювального середовища

Використання логічних моделей взаємодії програмних засобів (файл-сервер, клієнт-сервер, багатоланкова, розподілена) із урахуванням виділених вимог до компонентів ІТ дозволяє взяти за основу моделі взаємодії обчислювальних ресурсів технологію «клієнт-сервер», що передбачає виконання прикладних завдань на клієнтських місцях за одночасної можливості виконання певного обсягу обчислень на сервері. Загальна надійність комп'ютерної системи у разі вище, оскільки сервер працює стійкіше, ніж ПК. Крім того, такий підхід дозволяє зняти зайве навантаження із клієнтських місць, де можна використовувати більш дешеві ПК.

Встановлене системне програмне забезпечення (ПЗ) включає сервісні засоби для тестування ПЗ та технічних засобів, архівування та резервного копіювання даних, розпізнавання вірусів тощо. Для організації обміну даними між ПК використані стандартні протоколи обміну, які визначають методи доступу до мережеских каналів даних [14].

Незалежно від типу розв'язуваних задач, алгоритм роботи однаковий і може бути представлений наступною форрисізованою моделлю, рис. 3:

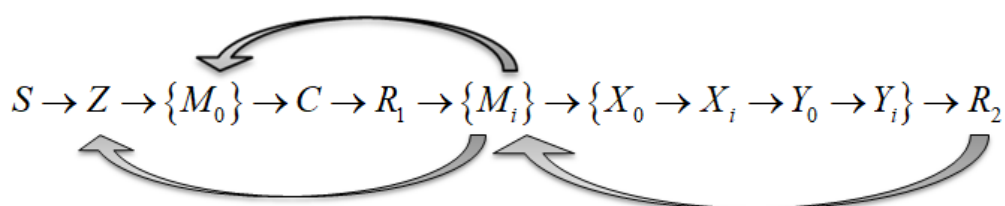


Рис. 3. Модель організації обміну даними між ПК

де  $S$  – запуск *main*-ПЗ ШІ;  $Z$  – завантаження (реплікація) наборів даних, що визначають умови проведення розрахункових та експериментальних досліджень;  $M_0$  – головне меню ПЗ;  $R_1$  – результат тестування інформації;  $C$  – тестування завдання;  $M_i$  – меню  $i$ -завдання;  $X_0$  – ПЗ управління ШІ досліджень;  $X_i$  – програмний пакет, що реалізує  $i$ -е завдання;  $Y_0$  – ПЗ зв'язку із БД;  $Y_i$  – реплікації БД;  $R_2$  – ухвалення рішення про закінчення роботи ПЗ.

Уніфікована структура обчислювального середовища ШІ представлена на рис. 4. Для підвищення її надійності та стійкості створено обчис-



лювальний кластер серверів (сервер БД, сервер додатків), між якими реалізовано розподіл/перерозподіл усіх функцій, що виконуються.

Статус пріоритету, встановлений для програм управління процесом, визначається під час вирішення теоретичних та експериментальних завдань на основі експрес-аналізу поточної інформації.

Реалізація, створених із застосуванням ІЦІ ППС, засобів та методів комплексування програмної компоненти розширює функціональні можливості середовища проектування, значно підвищує інформативність процесу отримання рішень, знижує його трудомісткість.

Комплексування ПЗ, шляхом інтеграції спеціалізованих програм для реалізації стандартних алгоритмів обробки даних та проблемно-орієнтованих програмних пакетів, необхідний для реалізації перенастроєваних та нових алгоритмів.

Метод комплексування заснований на підході, який передбачає реалізацію трирівневої архітектури ІІІ [15] :

- верхній рівень утворюється спеціалізованим мовним середовищем, що містить програмні засоби для реєстрації, обробки та відображення даних, а також засоби розробки та програм управління периферійними пристроями безпосередньо або за допомогою спеціального програмного забезпечення;
- середній рівень включає бібліотеку підпрограм, бібліотеки спеціальних функцій, що приєднуються, і сумісне з верхнім рівнем архітектури ПЗ доповнюючого типу, орієнтоване на управління стандартизованими системами збору даних та управління;
- нижній рівень складають програмні драйвери, що використовуються для роботи з конкретними апаратними модулями.

У цьому випадку елементи всіх трьох рівнів (ОС, програмні засоби збору, обробки та відображення даних, програми управління периферійними пристроями) об'єднуються в єдину гнучку робочу програму, що допускає перебудову на розсуд ІІІ.

## **Результати**

Реалізація запропонованої технології використання штучного інтелекту у проектуванні повітряних суден транспортної категорії не реалізована на 100%. Силами автора реалізовані окремі невеликі ділянки такої технології. Більш детальний опис таких ділянок надано у роботі [16]. Іде робота у напрямку проектування літальних апаратів використовуючи ІІІ групи 2. *Оптимізація проектування.*

Генерацію модифікацій зовнішнього обліку з урахуванням вимог і заданих параметрів можна показати на прикладі модифікацій безпілотних літальних апаратів (БПЛА). Використовуючи елементи ІІІ, на базі існую-

чого прототипу БПЛА, отримана лінійка модифікацій первинної конструкції для виконання різних польотних завдань, рис. 5.

Результатом проектної роботи із використанням елементів ШІ є:

1. Рекомендована аеродинамічна схема з врахуванням особливостей балансування.
2. Рекомендовані форми крила та механізації з визначенням геометричних розмірів.
3. Визначення типу та характеристики силової установки.
4. Визначення ваги елементів конструкції та обладнання, визначення льотної ваги.
5. Визначення положення центрів ваги агрегатів і центрування БПЛА.
6. Визначення основних аеродинамічних інтегральних характеристик  $C_x = f(\alpha)$ ,  $C_y = f(C_x)$  та якості  $K = f(C_y)$ .
7. Визначення тактико-технічних характеристик та швидкостей.
8. Визначення розподілених та інтегральних навантажень, визначення центрів тиску на поверхні БПЛА.
9. Визначення напружено-деформований стану конструкції на основі скінченно-елементного аналізу.

Система знаходиться у постійному вдосконаленні.

### **Висновки**

1. Надано рішення структуризації потоків інформації, які забезпечують процес проектування літака транспортної категорії у стратегії оптимального проектування авіаційних конструкцій із використанням ШІ.

2. Вперше визначені вимоги до структурної організації ШІ, як технології обробки інформаційних потоків проектування повітряного судна, що дозволяє створити ланцюг логічних моделей взаємодії програмних засобів.

3. Розроблено алгоритм інформаційного забезпечення ШІ на стадії ескізного проектування, який забезпечує процедуру інформаційного наповнення моделей проектних розрахунків.

4. Вперше реалізована уніфікована структура обчислювального середовища ШІ та технологія використання ШІ в задачі модифікації зовнішнього обліку БПЛА.

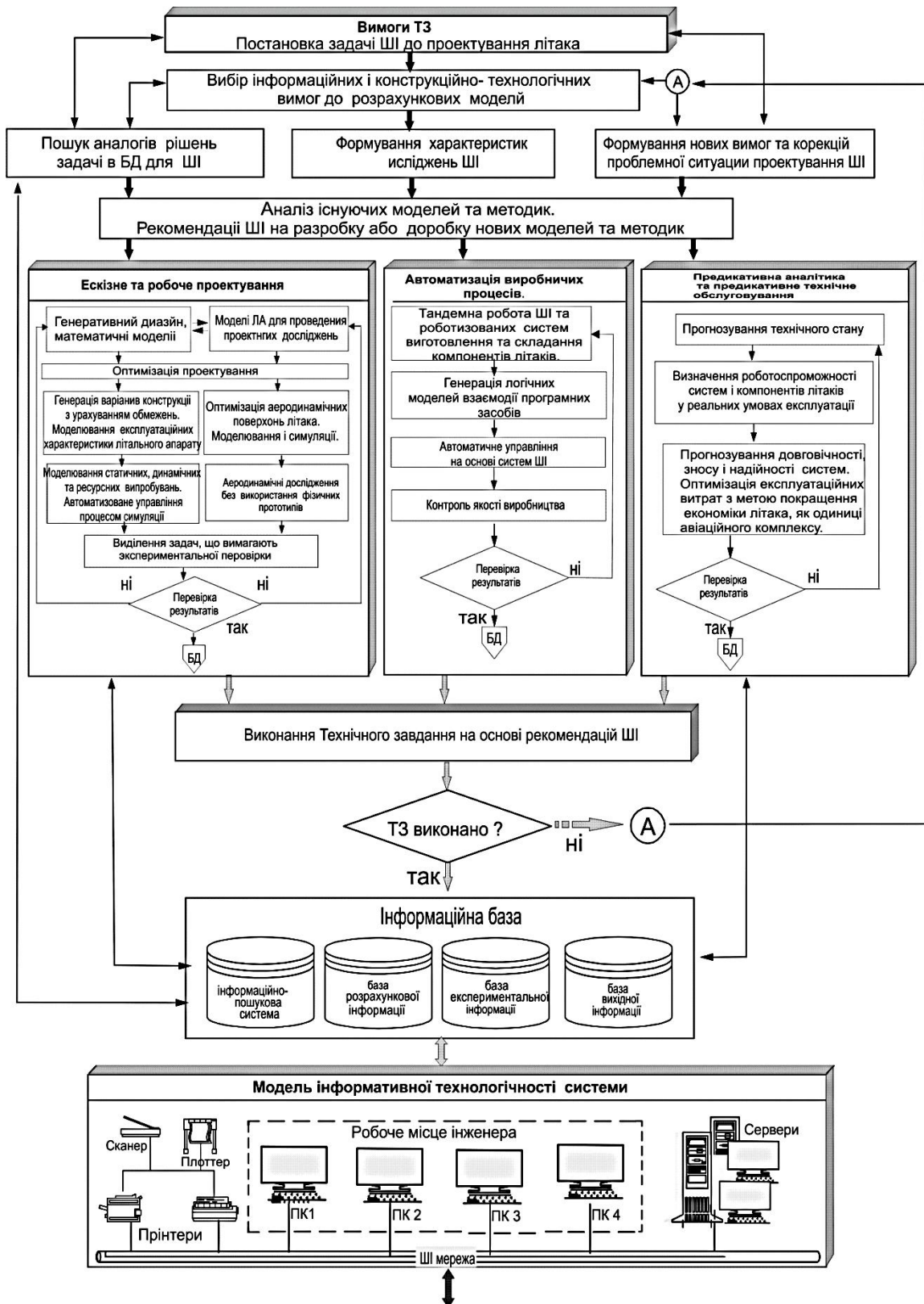


Рис. 4. Уніфікована структура обчислювального середовища ШІ



Рис. 5. Лінійка модифікацій БПЛА, що спроектовані із використанням ШІ

### Список використаної літератури

1. Руденко О. Г., Бодяньський Є. В. Штучні нейронні мережі: Навчальний посібник. — Харків: ТОВ «Компанія СМІТ», 2006. — 404 с.
2. Глибовець М. М., Олецький О. В. Системи штучного інтелекту. Київ: КМ Академія, 2002. 366 с.
3. Субботін С. О. Подання й обробка знань у системах штучного інтелекту та підтримки прийняття рішень. Запоріжжя: ЗНТУ, 2008. — 341 с.
4. Литвин В. В., Пасічник В. В., Яцишин Ю. В. Інтелектуальні системи : підручник. Львів: «Новий Світ – 2000», 2020. — 406 с.
5. Нестеренко О. В., Савенков О. І., Фаловський О. О. Інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень: навчальний посібник. Київ: Національна академія управління, 2016. — 188 с.
6. Шаров С. В., Лубко Д. В., Осадчий В. В. Інтелектуальні інформаційні системи: навчальний посібник. Мелітополь: Вид-во МДПУ ім. Б. Хмельницького, 2015. — 144 с.
7. Савчук Т. О. Інформаційна технологія масштабування хмарного застосування з неперіодичними піками навантаження / Т. О. Савчук,

- С. І. Петришин // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». –2014. –№ 783 : Інформаційні системи та мережі. – С. 187-193.
8. *Майданюк В. П., Кожемяко К. В., Арсенюк І. Р.* Нейроподібні методи ущільнення зображень. //Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології-2009-№1(17). – С. 37-41.
  9. *Олефір А. О.* Застосування штучних нейронних мереж типу перцептрон та мереж Хопфілда для стиснення даних [Текст] / А. О. Олефір, М. В. Превір. – Прикладна математика та комп'ютинг 2015. Збірник тез доповідей,. – Київ: Просвіта, 2015. – с. 211-216.
  10. *Бондар Ю. І.* Прилади та інженерні технології визначення зовнішніх навантажень на несучі поверхні літака./ Ю. І. Бондар, В. П. Зінченко // Приладобудування 2010, стан та перспективи: IX Між-нар. наук-техн. конф. НТУУ «КПІ».– К., 2010. – С. 112.
  11. *Egbert Torenbeek.* Advanced aircraft design. Conceptual design, analysis, and optimization of subsonic civil airplanes. Delft university of technology, the Netherlands, 1988, Typeset in 10/12pt Times by Aptara Inc., New Delhi, India. ISBN: 9781119969303.
  12. *Мартин Дж.* Організація баз даних у обчислювальних системах. / Пер. с англ. – К.: КМ Академія, 2007. – 662 с.
  13. *Субботін С. О.* Подання й обробка знань у системах штучного інтелекту та підтримки прийняття рішень. Запоріжжя: ЗНТУ, 2008. – 341 с.
  14. *Глибовець М. М., Олецький О. В.* Системи штучного інтелекту. — К.: КМ Академія, 2002. — 366 с.
  15. *Takuki Kamiya* (Fujitsu), *Andrei Kolesnikov* (IOT Association), *Brett Murphy* (RTI), *Kym Watson* (Fraunhofer IOSB), *Niklas Widell* (Ericsson) Characteristics of IIoT Information Models Copyright© 2018 ~ 2020 Industrial Internet Consortium, a program of Object Management Group, Inc. (“OMG”). <https://www.iiconsortium.org/pdf/Characteristics-of-IIoT-Information-Models.pdf> .
  16. *Бондар Ю. І.* Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. К.: НАУ, 2015. – 20 с. <https://er.nau.edu.ua/bitstream/NAU/14377/2/%D0%A0%D0%95%D0%A4%D0%95%D0%A0%D0%90%D0%A2.pdf>,