

Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Адаптивні**  
**системи**  
**автоматичного**  
**управління**

Випуск № 1(32) 2018

Міжвідомчий науково-технічний збірник

Друкується 2 рази на рік

Київ  
КПІ ім. Ігоря Сікорського  
2018

УДК 62-50

Адаптивні системи автоматичного управління // Міжвід. наук.-техн. зб. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського», Вид-во «Політехніка». – 2018. – Вип. 1(32). – 224 с.  
ISSN 1560-8956

Засновник і видавець

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Засновано у січні 1973 р. Виходить 2 рази на рік

*Головний редактор:* Стенін О. А., д-р техн. наук  
*Заст. головного редактора:* Михальов О. І., д-р техн. наук  
*Відповідальний секретар:* Лісовиченко О. І., канд. техн. наук

Редакційна колегі: Бідюк П. І., *д-р техн. наук*; Бодянський Є. В., *д-р техн. наук*; Жученко А. І., *д-р техн. наук*; Дімітров Л. В., *д-р техн. наук*; Клаус-Юрген Вольтер, *д-р техн. наук*; Корсун В. І., *д-р техн. наук*; Куссуль Н. М., *д-р техн. наук*; Лавров О. А., *д-р техн. наук*; Лисенко О. І., *д-р техн. наук*; Любчик Л. М., *д-р техн. наук*; Мельник А. О., *д-р техн. наук*; Оксанич А. П., *д-р техн. наук*; Осадчий С. І., *д-р техн. наук*; Пархомей І. Р., *д-р техн. наук*; Писаренко В. Г., *д-р техн. наук*; Руденко О. Г., *д-р техн. наук*; Синеглазов В. М., *д-р техн. наук*; Сільвестров А. М., *д-р техн. наук*; Смолій В. М., *д-р техн. наук*; Чеботарьов А. М., *д-р техн. наук*; Чженбин Ху, *канд. техн. наук*.

Друкується за рішенням Вченої ради КПІ ім. Ігоря Сікорського  
*Протокол № 7 від 25.06.2018 р.*

Адреса редакції збірника  
03056, м. Київ,  
пр. Перемоги, 37, КПІ ім. Ігоря Сікорського,  
каф. Технічної кібернетики,  
корп. 18, кімн. 438.  
<http://asac.kpi.ua>  
E-mail: [asac@tk.kpi.ua](mailto:asac@tk.kpi.ua)



© Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», 2018  
© Автори статей, 2018

## **КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОРЫНКОМ**

*Аннотация:* Приведены результаты совершенствования подхода к проектированию объектно-ориентированной системы поддержки принятия решений для автоматизации процессов организационного управления на оптовом рынке электроэнергии.

*Ключевые слова:* организационное управление, оптовый рынок электроэнергии, система поддержки принятия решений, информационно-технологическая платформа.

### **Введение**

Ранее в работе [4] достаточно обоснованно отмечалось, что создание компьютерных систем организационного управления (КСОУ) оптовым рынком электроэнергии (ОРЭ) является наукоёмкой и ресурсоёмкой задачей и делался вывод о необходимости построения КСОУ на базе информационно-аналитической системы мониторинга (ИАСМ). Далее, в работе [3] были проанализированы особенности автоматизации процессов организационного управления при решении неструктурированных и слабоструктурированных задач, которые приводят к сложностям в управленческой деятельности, вследствие информационной неопределенности, и предложено, что дальнейшее обобщение и развитие подхода к построению КСОУ должно осуществляться на основе перехода к объектно-ориентированной системе поддержки принятия решений (СППР) и включения в ее состав ИАСМ с целью построения интегрированной системы, ориентированной на исследование основных показателей состояния производства и экономики субъектов ОРЭ.

Настоящая работа посвящена совершенствованию и детализации предложенного подхода в направлении развития средств информационно-технологического обеспечения с целью создания информационной среды проектирования, как для построения компьютерных моделей задач организационного управления ОРЭ, так и их взаимосвязанного функционирования в ней, а также для автоматизации процессов принятия решений по прогнозированию и планированию поставок продукции - электроэнергии на ОРЭ.

## 1. Постановка задачи исследования

Исходя из поставленных целей и специфики предметной области ОРЭ, информационные технологии построения КСОУ на базе СППР функционально должны удовлетворять следующим современным требованиям:

- поддержка распределенной в пространстве архитектуры системы;
- поддержка корпоративной нормативно-справочной информации;
- наличие механизмов обмена информацией, хранящейся на разных уровнях управления;
- модульный принцип построения, допускающий изолированное использование отдельных компонент системы, а также их комбинаций, диктуемых производственно-экономическими задачами;
- возможность агрегирования, консолидации и интеграции данных по уровням управления;
- обеспечение интерфейсов взаимодействия с внешними системами;
- возможность наращивания функционального состава системы.

Приведенные требования к функциональности КСОУ с точки зрения автоматизации процессов принятия решений в сфере мониторинга производственных показателей субъектов ОРЭ и развития его в целом обуславливают необходимость соблюдения следующих условий [3]:

- открытость структуры системы;
- гибкость интерфейса для включения новых объектов и алгоритмов реализации математических моделей технологического процесса почасового планирования и оптимального распределения объемов производства энергии между производителями и потребителями по критерию минимальной стоимости на производство электроэнергии на заданном интервале графика погрузка активной мощности;
- гарантированность (достоверность) приема, обработки, хранения информации о состоянии субъектов ОРЭ;
- адаптивность к изменениям, как в структуре, так и в значениях параметров субъектов ОРЭ.

Структуры сложных систем управления, к которым следует отнести КСОУ ОРЭ, как правило, строятся с использованием иерархического и функционального принципов выделения подсистем. В результате системы управления каждого уровня представляют собой подсистемы в системе более высокого уровня. Каждый уровень характеризуется своими особенностями целей и операций управления, связанных с обработкой данных [5].

Известно что, операции управления реализуют информационную функцию объекта управления, которая состоит в выполнении в автоматизированном

режиме сбора, обработки, интерпретации и представления информации для выполнения производственной функции этого объекта, т. е. реализации задач управления [6].

Для решения задач управления в организационно-технических системах (ОТС) также может образовываться иерархическая система, на нижнем уровне которой находятся задачи интерпретации и представления данных, а следующие уровни образуют задачи генерации новых данных и знаний для поддержки процессов выработки и принятия управленческих решений в КСОУ.

В результате, можно определить следующие уровни подсистем, обусловленные разной степенью автоматизации информационной функции ОТС:

1) информационно-поисковые системы для автоматизации процессов интерпретации данных и подготовки интерфейсов взаимодействия;

2) информационно-регистрационные системы для автоматизации процессов сбора, накопления и передачи данных;

3) информационно-аналитические системы для автоматизации процессов мониторинга и проведения расчетных задач;

4) информационно-моделирующие системы для подготовки и анализа вариантов развития на основе моделей объекта управления;

5) информационно-решающие системы для автоматизации процессов выработки и принятия управленческих решений.

Исходя из анализа особенностей механизмов организационного управления, дальнейшее развитие подхода к построению КСОУ должно осуществляться не только на основе перехода к объектно-ориентированной СППР, но и с учетом ее иерархической структуры и интеграции составляющих в единую информационную систему управления для разрешения сложностей в организации управленческой деятельности субъектов ОТС. Т.е., для автоматизации процессов организационного управления на ОРЭ следует СППР рассматривать как объектно-ориентированную иерархическую интегрированную систему.

В результате существенную роль для решения проблемы объектного моделирования данных предметной области организационного управления приобретает функциональное моделирование технологических процессов обработки данных с целью унификации программного интерфейса единой интегрированной системы через типизацию (классификацию) операций взаимодействия лица принимающего решения с объектами (структурами данных) предметной области КСОУ.

Исходя из возможного развития инфраструктуры объекта автоматизации - процессов организационного управления, развития математических моделей, применяемых для описания технологических процессов управления, в современных условиях выработка методологии проектирования КСОУ с максимально

адаптивной структурой представления данных предметной области и программного обеспечения самой системы приобретает наибольшее значение.

В этой связи наиболее перспективным направлением в создании КСОУ является подход, основанный на информационной технологии, которая представляет собой гибкое высокоавтоматизированное перенастраиваемое производство моделей автоматизируемых процессов, позволяющее непрерывно совершенствовать технологический процесс создания системы, поддерживать актуальность инструментальных средств и стандартов, а также развивать и совершенствовать и саму систему [1, 2].

Информационная составляющая такой технологии при создании КСОУ обеспечивает формирование строго определенной структуры данных, в рамках которой создаются информационные модели объектов предметной области и реализуемых задач переработки информации, и учитывает реальные особенности технологических процессов проведения оперативных, плановых и аналитических расчетов и операций по обработке данных. А функциональная ее составляющая представляет собой информационно-технологическую платформу (ИТП), которая обеспечивает создание и функционирование всей совокупности математических моделей расчетно-аналитических задач, логически и информационно взаимосвязанных между собою по целевому назначению, расчетным входным и выходным данным.

Итак, основной целью предлагаемой ИТП является улучшение координации и повышение информационной обеспеченности работы пользователей КСОУ за счет сокращения сроков подготовки объекта автоматизации, ускорение предоставления интерфейсов взаимодействия пользователя, создание интегрированного информационного ресурса и единой программной среды.

## **2. Организационная структура ИТП построения СППР**

В современных информационных системах для адекватного отражения функционального предназначения используемых данных применяется трехуровневая организационная схема построения, в которой выделяются уровни: внешней модели данных, отражающей интерфейс программного приложения, концептуальной модели, отражающей представления данных функциональных задач программного приложения, и физической модели, отражающей структуры данных в базе данных предметной области информационной системы.

В основу адаптивной организационной схемы ИТП построения объектно-ориентированной интегрированной иерархической СППР должны быть положены типовые черты, с помощью которых можно отличить один объект данных от другого. Целесообразность такого анализа и выделения классов объектов

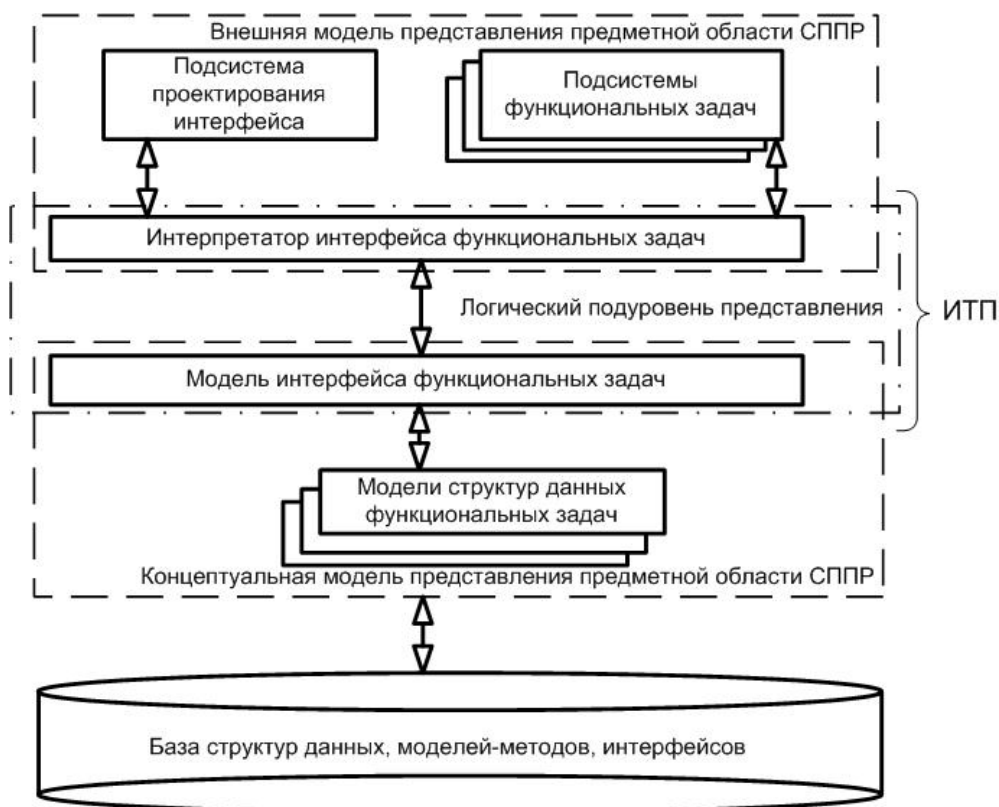
предметной области при разработке внешней и концептуальной модели обусловлена тем, что для разных функциональных задач программного приложения часто используются одинаковые операции визуализации и преобразования над информационными массивами данных. Кроме того, функции и процессы обработки данных при поэтапном внедрении подсистем интегрированной иерархической системы быстро модифицируются, воссоздавая переменные требования пользователей к предметной области. Все это требует такой организации структуры системы, при которой объекты предметной области и взаимосвязи между ними были бы определены независимо от реализации конкретных функциональных задач обработки данных в процедурах и интерфейсах программного приложения, и представляли собой единую структуру.

В результате, объектом проектирования и описания в организационной модели системы должны выступать не только структуры данных предметной области, а и сами процедуры реализации функциональных задач. Введение дополнительного промежуточного логического подуровня представления процедурной и интерфейсной частей программной среды ИТП между уровнями концептуальной и внешней модели предметной области обеспечит необходимую независимость, т.е. адаптивность СППР к возможным изменениям и расширениям внешней и концептуальной моделей данных (рис.1).

В результате логика визуализации функциональных задач предметной области становится также данными, представленными в виде собственной модели интерфейса, которая входит в концептуальную модель, а технологической частью ИТП становится инструментальный программный комплекс гибкой (адаптивной) информационной системы, функцией которого служит интерпретация и воспроизведение в задачах подсистем взаимозависимых данных из модели интерфейса функциональных задач и из моделей структур данных концептуального представления предметной области.

Однако простое наличие в СППР отдельных функциональных подсистем еще не обеспечивает решения всего комплекса задач, которые возникают как на этапе практического создания программной системы, так и на этапе ее эксплуатации, связанных с обеспечением надежной и эффективной работы на протяжении возможно более продолжительного жизненного цикла.

В результате к функциональности современных информационных систем следует предъявлять требования, которые предусматривают открытость структуры системы, наличие гибкого интерфейса (механизма) для включения новых объектов и алгоритмов решения прикладных задач и возможности адаптации к изменениям, как в структуре, так и в значениях параметров объектов предметной области.



**Рис. 1.** - Адаптивная организационная схема ИТП построения СППР

Таким образом, информационная часть – база данных и технологическая часть – программное обеспечение ИТП будут состоять из функциональной составляющей, которая отражает особенности и процессы предметной области, и информационной составляющей, которая отражает унифицированные способы взаимодействия с объектами предметной области.

### 3. Концептуальная схема построения ИТП

Итак, программное обеспечение объектно-ориентированной иерархической СППР построенной на базе адаптивной ИТП должно состоять из подсистем, ориентированных на решение функциональных задач в рамках обеспечения информационных потребностей пользователя предметной области КСОУ. Каждая функциональная задача, в целом, характеризуется входными данными (поток данных), выходными данными (поток результатов) и методами их обработки (интерпретации и представления). Под методами обработки следует понимать инструментальные функции, которые обеспечивают разнообразные механизмы манипулирования входными данными функциональных задач. К таким методам относятся операции выборки данных, фильтрации данных, внесения изменений



в элементы данных, удаление данных, агрегирования данных для формирования аналитической отчетной информации или других данных-результатов.

Таким образом, можно говорить о следующей концептуальной схеме построения ИТП в виде трехуровневой организационной структуры «функциональная среда предметной области – функциональная задача – инструментальная функция обработки». В результате прикладная часть системы будет структурироваться из подсистем, которые выделяются не по проблемно-ориентированным признакам, а по функциональным, которые ориентированы на типовые операции взаимодействия с объектной предметной средой при интерпретации и представлении данных.

Требования универсальности и единообразия в способах представления данных пользователю приводит к необходимости создания так называемых метаданных. Однако их применение является одним из наиболее сложных и практически недостаточно проработанных инструментов в современных информационных технологиях создания КСОУ. В общем случае необходимо выделять такие аспекты метаданных, которые должны присутствовать в СППР, как с точки зрения описания объектов предметной области, так и функциональности системы:

- 1) метаданные о структуре данных прикладной области;
- 2) метаданные о процессах;
- 3) метаданные о способах представления данных (интерфейсах) пользователю;
- 4) метаданные описания пользователей;
- 5) метаданные по администрированию системы.

Первые два аспекта отражают объектно-ориентированный подход к описанию предметной области КСОУ, а остальные - адаптивность к способам представления данных этой предметной области.

Рассмотрим механизм представления данных в объектно-ориентированной СППР, построенный с использованием технологии метаданных.

Эффективность сложных информационных систем в значительной мере зависит от способов семантического согласования интерфейса прикладных программ с данными ее бизнес-логики, которые обрабатываются на концептуальном и физическом уровнях представления. При этом очень важно, как обеспечивается та или иная степень независимости (согласованности) данных от логики программ. Известно несколько способов семантического согласования через механизм связывания структур данных с прикладной программой, которые могут осуществляться как на этапах компиляции (проектирования), так и при выполнении (трансляции) программы.

Встраивание структур данных в программы и их связывание с бизнес-логикой, выполняющееся до начала работы программы, т.е. на стадии ее проектирования, обеспечивает статическую согласованность данных. При таком варианте

связывания в случае модификации концептуальной модели данных для успешного выполнения функциональной задачи необходимо повторно проводить компиляцию и построение нового образа программы, пригодной к использованию с модифицированными структурами данных.

Реализация способа связывания на этапе выполнения программы, т.е. одновременно с выборкой прикладных данных из базы, разрешает обеспечить динамическую независимость данных, которая обладает максимальной гибкостью в применении. Такое динамическое связывание реализуется путем создания словаря отображений структур данных функциональных задач концептуальной модели, реализованного в виде собственной модели использования структур данных в интерфейсах прикладной программы. В этом случае модификация концептуальной модели данных не разрушает первичное состояние прикладной программы, т.к. изменения в ней будут воспроизведены в модификации данных собственной модели представления, структура которой остается неизменной.

С точки зрения производительности систем реального времени динамическое связывание несколько снижает скорость доступа к прикладным данным, вследствие дополнительного считывания служебной информации о связях данных концептуальной модели и собственной. Однако рядом с возможностями модификации и развития концептуальной модели гибкое динамическое связывание структур данных с программами обеспечит необходимые условия сопровождения изменений функций программного обеспечения и прикладных баз данных. Гибкое динамическое связывание через собственную модель представления и доступа к прикладным данным концептуальной модели обеспечит простое изменение структуры базы данных, программирование и формирование запросов к ней, а, следовательно, ускорит разработку новых функциональных задач и подсистем.

Итак, основными структурами собственной модели динамического связывания являются модели отношений и атрибутов. Принцип отображения информационных объектов концептуальной модели в элементы модели интерфейса представлен на рис. 2.

Каждая запись модели отношений содержит общие сведения о структуре данных отдельной функциональной задачи СППР в концептуальной модели, первичным ключом которой является идентификатор отношения, однозначно определяющий отображение структуры данных концептуальной модели в интерфейс функциональной задачи. Модель атрибутов определяет характеристики (свойства) элементов структуры данных в концептуальной модели функциональной задачи, принадлежность которых определяется идентификаторами отношения и атрибута. Введение новых структур в концептуальную модель

осуществляется добавлением новых записей в модель отношений и формированием новых данных об атрибутах этого отношения. Схемы работы программного приложения ИТП при этом автоматически модифицируются в зависимости от занесенных данных в собственную модель. Тем не менее, само приложение остается без изменений и декларируется как набор:

$$P = (T, U, G, f_G, f_T),$$

где  $T = \{t_i | i \in I\}$  – множество функциональных задач приложения,  $U = \{u_j | j \in J\}$  – множество пользователей приложения,  $G = \{g_k | k \in K\}$  – множество групп пользователей,  $f_G : U \times G \rightarrow \{0,1\}$  – функция принадлежности пользователя к группе,  $f_T : (U \cup G) \times T \rightarrow \{0,1\}$  – функция доступа к функциональным задачам.

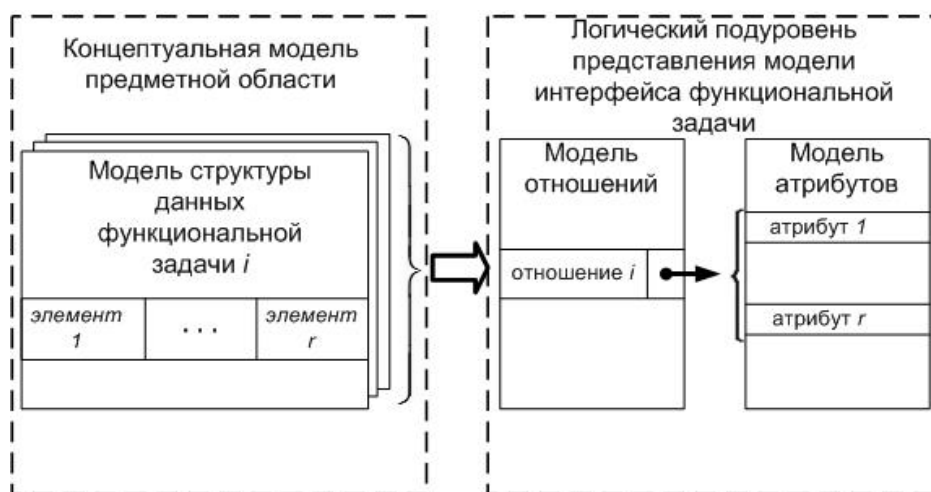


Рис. 2. - Принцип отображения объектов концептуальной модели

Функциональные задачи определяются как наборы:

$$t_i = (R, A, f_R^T, f_A^T, D, f_D, M, f_M),$$

где  $R = \{r_i | i \in I\}$  - множество структур данных функциональных задач, представленных в модели отношений  $f_R^T : T \rightarrow R$ ,  $A = \{a_y | y \in Y\}$  - множество элементов структур данных функциональных задач, представленных в модели атрибутов  $f_A^T : A \times T \rightarrow R$ ,  $D = \{d_h | h \in H\}$  - множество методов - функций обработки элементов структур данных функциональных задач  $f_D : D \rightarrow T$ ,  $M = \{m_l | l \in L\}$  - множество видов связывания структур данных, определяющих модель интерфейса функциональной задачи  $f_M : T \rightarrow M$  (таблица, дерево, карта, отчет).

Методы обработки элементов структур данных определяются как наборы:

$$d_h = (S, f_S, f_R^D, f_A^D)$$

$S = \{s_v \mid v \in V\}$  - множество моделей способов обработки данных (просмотр, редактирование, создание, удаление, поиск, формирование сводный данных, переход к сопутствующим структурам данных),  $f_S : D \rightarrow S$  - функция принадлежности способов обработки данных,  $f_R^D : D \rightarrow R$  - функция принадлежности методу обработки множества сопутствующих структур данных,  $f_A^D : A \times D \rightarrow R$  - функция принадлежности методу обработки множества элементов сопутствующих структур данных.

Применение принципов вертикальной и горизонтальной декомпозиции позволяет выделить при построении организационной структуры программного комплекса ИТП три уровня интерфейса взаимодействия с данными из собственной и концептуальной модели функциональных задач СППР:

- 1) уровень проблемно-ориентированной среды пользователя объекта автоматизации;
- 2) уровень инструментальных средств решения функциональной задачи, выбранной пользователем;
- 3) уровень реализации функции инструментального средства функциональной задачи.

Первый уровень организует работу пользователя при решении прикладной проблемы объекта автоматизации и предлагает predetermined в концептуальной модели предметной области совокупности функциональных задач. Этот уровень представлен в виде модуля «Менеджер», который воссоздает доступную совокупность и последовательность применения задач в виде иерархического меню или дерева подсистем.

Второй уровень воссоздает процедуру реализации определенной на первом уровне функциональной задачи, тип которой определяется в зависимости от установленных в концептуальной модели информационных связей элементов структур данных предметной области в интерфейсе реализации функциональной задачи. Каждая функциональная задача может использовать следующие типовые информационные связи между значениями элементов структур данных:

- простые отношения («один к одному» - списочного типа);
- структурированные отношения («один ко многим» - иерархического типа);
- функциональные отношения (между несколькими структурами с образованием новых элементов данных с помощью агрегативных функций).

В зависимости от типа отношений между значениями элементов структур данных, которые образуют задачу, в программном комплексе для простых отношений используется модуль «Таблица», для структурированных отношений - «Дерево», для функциональных отношений - «Отчет».

Модуль «Таблица» представляет реляционные структуры данных и предусматривает функции редактирования, проверки, подготовки, поиска, удаление, печати данных. Модуль «Дерево» представляет иерархические структуры данных и предусматривает те же функции, что и модуль «Таблица». Модуль «Отчет» направлен на обработку разных структур, которые находятся в простых или структурированных отношениях между собою, с использованием агрегативных (аналитических) функций для формирования новых обобщенных данных. Функциями этого модуля служат формирование, просмотр и вывод данных.

Кроме приведенных модулей, которые связаны с типами отношений между значениями элементов структур данных, для обеспечения нормального функционирования информационной системы второй уровень также включает следующие обслуживающие модули, к числу которых отнесен модуль «Регистрация» – для идентификации пользователя и определения его прав доступа к функциональным задачам и их функциям.

Третий уровень обеспечивает реализацию типовых функций, которые образуют процедуры обработки элементов структур данных функциональной задачи. Определены следующие функции:

- 1) «Карточка» – ведение (редактирование) текущей информации элементов в структуре данных;
- 2) «Вставить» – создание новой информации в структуре данных;
- 3) «Отчет» – формирование обобщенных данных из информации элементов в структуре данных;
- 4) «Поиск» – формирование запросов к базе данных;
- 5) «Удалить» – удаление информации из структуры данных;
- 6) «Обработка» – запуск процедур обработки или проверки текущих структур данных;
- 7) «Переход» – вызов других модулей;
- 8) «Строка» – считывание и управление данными реляционного типа;
- 9) «Узел» – считывание и управление данными иерархического типа;
- 10) «Просмотр» – формирование текущей информации элементов структуры данных для просмотра.

В результате будет создана системная основа формирования единой информационной среды для построения КСОУ мониторинга производственных показателей субъектов ОРЭ в составе:

- единой системы классификаторов и справочников,
- единой системы протоколов и интерфейсов,
- унифицированной структуры хранения данных,
- унифицированной системы данных реального времени и коммерческого учета производственных показателей субъектов ОРЭ.

## Выводы

Детализирован подход к проектированию объектно-ориентированной иерархической СППР, отличительная особенность которого состоит в том, что программной составляющей системы становится единый программный комплекс ИТП, интерпретирующий данные из собственной модели интерфейсов функциональных задач. Основу программной части ИТП составляет компонентная организационная структура, реализующая типовые функции способов обработки и представления структур данных, на базе которых пользователь решает функциональные задачи предметной области КСОУ.

Разработка и применение такой программной среды на предложенной платформе предоставляет единый программный продукт развертывания и сопровождения СППР, который снизит риск, сложность и затраты при переходе к новым задачам организационного управления субъектами ОРЭ.

## Список использованных источников

1. Борукаев З. Х. Компьютерная модель мониторинга энергоэффективности: информационно-технологические аспекты / З. Х. Борукаев, В. Ф. Евдокимов, К. Б. Остапченко // Энергетика та електрифікація. - 2006, №11. - С. 52-57.

2. Борукаев З. Х. Компьютерная модель мониторинга энергоэффективности: аспекты информационного моделирования / З. Х. Борукаев, К. Б. Остапченко, Л. И. Грицюк // Энергетика та електрифікація. - 2007, №1. - С. 3-7.

3. Борукаев З. Х. Подход к построению систем поддержки принятия решений для автоматизации процессов организационного управления энергорынком / З. Х. Борукаев, К. Б. Остапченко, О. И. Лисовиченко // Міжвідомчий науково-технічний збірник «Адаптивні системи автоматичного управління». - 2017. - №1(30). - С. 29-43.

4. Борукаев З. Х. Компьютерные системы организационного управления в энергетике / З. Х. Борукаев, В. Ф. Евдокимов, К. Б. Остапченко, В. Ф. Шатров. - Киев: ЦТИ Энергетика и электрификация. - 2002. - 66 с.

5. Основы автоматизации управления производством / И.М. Макаров, Н.М. Евтихий, Н.Д. Дмитриева и др.; Под ред. И.М. Макарова. – М.: Высшая школа, 1983. – 504 с.

6. Гнучкі комп'ютерно-інтегровані системи: планування, моделювання, верифікація, управління / Л. С. Ямпольський, П. П. Мельничук, К. Б. Остапченко, О. І. Лисовиченко. – Житомир: ЖДТУ, 2010. – 786 с.

## **КОЦЕПТУАЛЬНА МОДЕЛЬ АДАПТИВНОГО ВЕБ-ІНТЕРФЕЙСУ КОРИСТУВАЧА З ВИКОРИСТАННЯМ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

*Анотація:* Стаття присвячена теоретичним аспектам задачі побудови адаптивного інтерфейсу користувача та існуючим підходам до її вирішення. Запропоновано концептуальну модель адаптивного інтерфейсу веб-орієнтованого програмного забезпечення. Визначено основні модулі системи і місце застосування інтелектуальних технологій в даній задачі. Визначено основні класи інформації, за допомогою яких визначається найбільш зручний персоналізований інтерфейс. Отримане рішення може бути використано для побудови веб-додатків з персоналізованим інтерфейсом користувача.

*Ключові слова:* адаптивний інтерфейс користувача, веб-додаток, архітектура програмного забезпечення, людино-машинна взаємодія

### **Вступ**

Веб-додатки стали одним з найпоширеніших видів програмного забезпечення, що використовуються для вирішення великого діапазону задач. Взаємодія між людиною і комп'ютером відбувається за допомогою веб-інтерфейсу користувача, який має забезпечувати ефективну взаємодію. Наразі більшість розроблених інтерфейсів реалізують концепцію стандартного і єдиного зовнішнього вигляду для всіх користувачів. Особливості користувачів не враховуються і інтерфейс не відповідає потребам окремих користувачів. Це призводить до неефективної людино-машинної взаємодії. Тому існує потреба в персоналізованих сервісах, що підлаштовуються під потреби користувачів. Метою роботи є створення моделі адаптивного інтерфейсу для веб-додатків на основі сучасних підходів та вимог.

### **Особливості задачі побудови адаптивного веб-інтерфейсу користувача**

Під адаптивним інтерфейсом користувача розуміють такий інтерфейс, що не тільки забезпечує взаємодію між користувачем і додатком, а також реалізує модель уподобань користувача, на основі якої зовнішній вигляд інтерфейсу і спосіб роботи з додатком підлаштовується під потреби користувача [2]. Такий підхід забезпечує адаптацію саме під особливості людини, яка користується додатком. Введене поняття адаптивного інтерфейсу не має нічого спільного з адаптивним веб-дизайном— підходом, що забезпечує коректне відображення веб-сайту на пристроях різного формату і роздільністю дисплея.

Адаптивні інтерфейси дозволяють персоналізувати контент на сторінці, обирати деталізованість подання інформації, відображати візуальні компоненти у зручному для користувача вигляді, виводити на перший план ті частини функціоналу, якими людина користується найчастіше, скривати непотрібні користувачу елементи на сторінці, надати зручний спосіб взаємодії для людей з обмеженими можливостями. Оскільки користувачі програмного забезпечення відрізняються комп'ютерними навичками, знаннями предметної області, персональними даними (віком, статтю та інше), роллю, що вони виконують, попередньою історією роботи з додатком, наявністю спеціальних потреб або обмежених можливостей, інформацією профілю соціальних мереж та інших відкритих джерел даних, ці дані в сукупності можна використовувати для визначення, яким чином має виглядати інтерфейс для кожного конкретного користувача. Такий підхід дозволяє поліпшити ефективність людино-машинної взаємодії та задовольнити вимоги до сучасних веб-інтерфейсів [1].

Для забезпечення інтерфейсу адаптивністю необхідно визначити модель користувача — організований набір інформації про користувачів, що буде використаний для персоналізації, та надати доступ до нього веб-додатку. Іншим важливим аспектом адаптивного інтерфейсу користувача є наявність сукупності компонентів інтерфейсу користувача (як елементів візуалізації так і функціональних засобів взаємодії), серед яких можна обирати найбільш відповідний до потреб поточного користувача. Крім того, для прийняття рішення про остаточний зовнішній та функціональний вигляд інтерфейсу взаємодії, необхідно мати механізм для відображення моделі користувача в конфігурацію веб-сторінки.

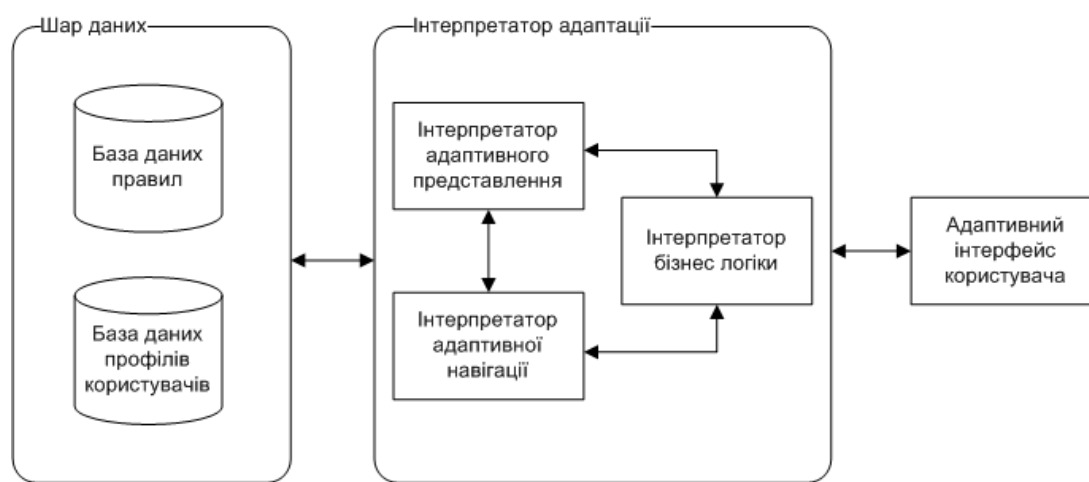
### **Аналіз існуючих моделей адаптивного інтерфейсу користувача**

Типовим прикладом моделі, що реалізує описані вище ідеї та вимоги до адаптивності є модель адаптивного інтерфейсу користувача на прикладі додатків для сфери охорони здоров'я компанія IBM [3]. Запропонована модель має адаптивне подання і навігацію, її спрощену модель зображено на рис. 1.

Адаптивне візуальне подання та навігація реалізовані з використанням бази даних правил вибору і інтерпретатора адаптації, який визначає відповідне правило, що буде використовуватися для певної веб-сторінки, на основі інформації з бази даних профілів користувачів. Кожне правило відповідає певній стратегії презентації або поведінки системи, яка відповідає одному або кільком елементам інтерфейсу користувача. Правила, пов'язані з адаптивним представленням та адаптивною навігацією, зберігаються в базі даних і можуть бути змінені в майбутньому. Контент сторінки відображається користувачу після застосування набору правил і інформації користувача до інтерпретатора адаптації.



Останній включає в себе інтерпретатор адаптивного представлення і інтерпретатор адаптивної навігації. Вони визначають зовнішній вигляд сторінки і поведінку інтерфейсу в залежності від правил адаптації і профілю користувача. Інтерпретатор бізнес логіки представляє собою реалізовану бізнес логіку додатку і, взаємодіючи з модулями адаптації, дозволяє отримати ту саму бізнес логіку, але представлену для користування у вигляді інтерфейсу персоналізованому для окремого користувача. Загалом, функціонал інтерпретатора містить логіку для створення відповідності між профілем користувача та зовнішнім виглядом інтерфейсу на основі набору правил.



*Рис. 1.* Спрощена модель адаптивного інтерфейсу користувача

Дана модель має суттєвий недолік в тому, що правила адаптації жорстко задані. Це не дозволяє адаптувати інтерфейс на основі зворотного зв'язку від користувачів та статистичної інформації про досвід користувачів, зібраної неявно. Врахування такої інформації про інтерфейс додатку, зокрема щодо зручності використання тих чи інших компонентів інтерфейсу, їх зовнішнього вигляду, рекомендованої користувачам інформації та способу її подачі — все це може суттєво поліпшити взаємодію між людиною і додатком, а також дати змогу визначити закономірності між даними про користувачів та конфігурацією інтерфейсу, що їм найбільше підходить.

### **Модель інтерфейсу користувача для веб-додатків з використанням інтелектуальних технологій**

Модель адаптивного інтерфейсу користувача, запропоновану компанією IBM, було модифіковано з використанням інтелектуальних технологій. Замість заздалегідь заданого набору правил в базі даних, модель використовує машинне

навчання для знаходження відповідностей між окремими користувачами та найбільш вдалою конфігурацією інтерфейсу для них. Крім того, користувачам надається можливість безпосереднього вибору найбільш зручної для них конфігурації інтерфейсу: типу компонентів та їх налаштувань. Для цього в додатку передбачена окрема сторінка налаштувань, або ж додаткова функція інтерактивного модуля допомоги. Ця інформація зберігається в профілі користувача та формує вибірку для навчання інтелектуальної моделі вибору компонентів для інших користувачів.

Дана концептуальна модель адаптивного інтерфейсу користувача передбачає застосування сучасних веб-технологій, зокрема, загальна архітектура спроектована з використанням мікросервісного підходу[4].

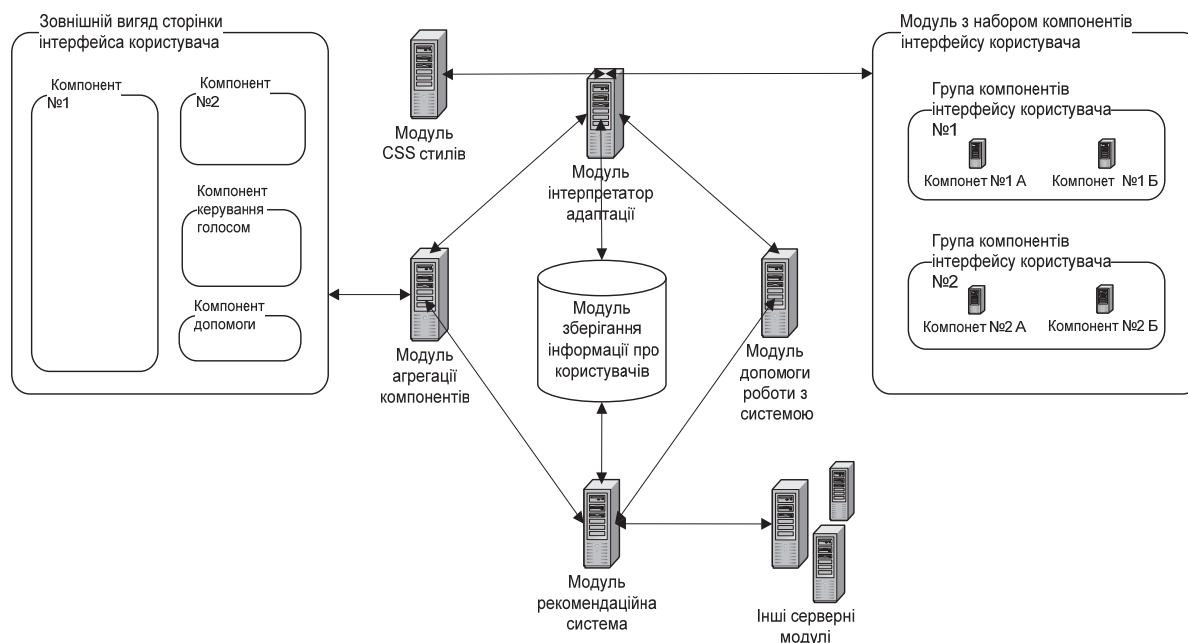
Архітектурно веб-додаток, що реалізує дану модель, складається з наступних модулів зображених на рис. 2:

1. Модуль зберігання інформації про користувачів
2. Модуль інтерпретатор адаптації
3. Модуль рекомендаційна система
4. Модуль з набором компонентів інтерфейсу користувача
5. Модуль CSS стилів
6. Модуль агрегації
7. Модуль допомоги роботи з системою
8. Інші серверні модулі

*Модуль зберігання інформації про користувачів* являє собою базу даних користувачів, що складається з трьох частин: інформації профілю, інформації контексту і конфігурації інтерфейсу, що якнайкраще відповідає потребам цього користувача. Профіль користувача формують наявні персональні дані: вік, стать, географічне місцезнаходження, наявність обмежених можливостей, персональні навички, роль та посаду, що займає користувач, тощо. Інформація контексту включає автоматично зібрану історію роботи користувача з веб-додатком, параметри та налаштування пристроїв, за допомогою яких користувач працює з веб-додатком. Історія дій користувача включає в себе інформацію про частоту використання, час перебування та різноманітні інтерактивні взаємодії користувача з веб-сторінками, елементами інтерфейсу та об'єктами предметної області. Дані про конфігурацію інтерфейсу включають в себе обраний безпосередньо користувачем список компонентів інтерфейсу, варіантів стилізації та налаштувань. При цьому дані конфігурації інтерфейсу присутні лише для користувачів, що явно указали який інтерфейс їм більше підходить. Ця вибірка користувачів використовується для навчання інтерпретатору адаптації, описаного нижче.

Для визначення конфігурації інтерфейсу користувача використовуються два інтелектуальних модулі: інтерпретатор адаптації і рекомендаційна система. Вони необ-

Міжвідомчий науково-технічний збірник «Адаптивні системи автоматичного управління» № 1' (32) 2018  
 хідні для прийняття рішення щодо загального зовнішнього вигляду додатку, набору компонентів інтерфейсу, релевантної інформації та стилізації інтерфейсу.



**Рис. 2.** Модель адаптивного інтерфейсу користувача для веб-додатків

*Інтерпретатор адаптації* дозволяє визначити набір компонентів інтерфейсу, їх налаштування та стилізацію та необхідність застосування модуля допомоги роботи з системою для поточного користувача, використовуючи інформацію про нього. Враховуючи складність, нечіткість та слабку формалізованість зв'язків між наявною інформацією про користувача та його перевагами у виборі компонентів та їх параметрів, для встановлення такої відповідності доцільно застосувати машинне навчання, що передбачає роботу в двох режимах: навчання та власне інтерпретації. В режимі навчання відбувається знаходження закономірностей між інформацією про користувача найбільш зручною для нього конфігурацією інтерфейсу. В режимі роботи даний модуль у якості вхідної інформації отримує інформацію про користувача та формує на виході конфігурацію найбільш зручного інтерфейсу. При наявності достатньої кількості збережених конфігурацій користувачів, що можуть бути використані в якості навчальної вибірки, доцільно для реалізації навчання використати один з методів навчання з учителем, наприклад, метод опорних векторів або нейронну мережу. При недостатній кількості еталонних даних для навчання перспективніше виглядає застосування методів навчання з підкріпленням, наприклад, Q-навчання[5]. В такому випадку оцінка деякою конфігурації інтерфейсу відбувається за непрямыми показниками роботи користувача з нею. В залежності від типу інтерфейсу, компо-

нентів та їх задач це може бути час перебування на сторінці, час затрачений на виконання певної сукупності дій, частота використання та інше, тобто інформація контексту користувача.

*Модуль рекомендаційна система*— інший інтелектуальний модуль. Він використовується в задачі визначення необхідного контенту для подання користувачу. Рекомендаційна система дозволяє побудувати рейтинговий перелік об'єктів, яким користувач надає перевагу. Даними об'єктами є корисна для користувача бізнес-інформація, включаючи відомості про сутності з якими працює система, дані про об'єкти предметної області, їх опис, характеристики, та інше. Цей модуль необхідний для фільтрації та пошуку найбільш релевантних для користувача даних, що пов'язані з бізнес-логікою додатку. Даний модуль взаємодіє не лише з модулем зберігання інформації про користувача, а також з базою даних самого додатку, де зберігається бізнес-інформація. У якості алгоритму рекомендаційної системи можна використати алгоритм колаборативної фільтрації, оскільки він показує хороші результати в задачах рекомендації користувачу тих чи інших об'єктів в залежності від його історії вибору схожих об'єктів та вибору схожих об'єктів іншими користувачами.

*Модуль з набором компонентів інтерфейсу* містить компоненти інтерфейсу користувача. Особливість полягає в тому, що для кожної функціональної частини інтерфейсу користувача проектується не один компонент, а декілька. Всі компоненти в рамках однієї функціональної частини інтерфейсу виконують однакову функцію, при цьому вони мають відмінності в дизайні, розташуванні елементів, додаткових функціональних можливостях та способах взаємодії з користувачем: візуальні компоненти або компоненти з голосовим керуванням [6]. Таким чином, є вибір з поміж декількох компонентів для одного функціонального елемента. Передбачається, що різним користувачам зручніше користуватися різними компонентами в залежності від їхніх особистих потреб. В залежності від інформації користувача інтерпретатором адаптації обирається той чи інший компонент інтерфейсу для відображення на сторінці.

*Модуль CSS стилів* складається з набору розроблених тем, що визначають загальну стилізацію інтерфейсу всього додатку та компонентів, зокрема, розмір, розташування, шрифти та кольорову гамму елементів на сторінці. В залежності від потреб користувачів їм можуть краще підходити різні варіанти стилізації, наприклад, тема зі збільшеним шрифтом для людей з поганим зором та звичайна тема для решти. Вибір теми для поточного користувача з переліку наявних виконується також інтерпретатором адаптації на основі інформації про користувача.

*Модуль агрегації* необхідний для формування цілісної веб-сторінки з персоналізованих для користувача компонентів інтерфейсу, варіанту стилізації

та бізнес інформації. Даний модуль отримує від модуля інтерпретатора адаптації дані про обраний для користувача набір компонентів інтерфейсу, їх налаштувань та стилів, а від модуля рекомендаційної системи отримує релевантну бізнес-інформацію. Використовуючи ці дані, модуль агрегації формує єдину HTML сторінку що буде відправлено користувачу.

*Модуль допомоги роботи з системою* являє собою спеціалізований модуль направлений на пришвидшення освоєння користувачами веб-додатку в цілому та окремих його можливостей та компонентів, зокрема нових, що особливо важливо для новачків. Замість класичного меню допомоги застосовується інтерактивний помічник. Модуль використовує додаткові компоненти інтерфейсу з довідковою інформацією про можливості елементів інтерфейсу користувача. Візуально вони представлені у вигляді спливаючих вікон або додаткових полів, що з'являються біля тих елементів інтерфейсу, інформацію про які надають. Модуль враховує з яким компонентом працює користувач і надає підказки щодо цього компонента. Визначення необхідності застосування цього модуля відбувається за допомогою інтерпретатора адаптації, що на основі інформації про досвід користування додатком чи компонентом з модуля зберігання інформації про користувача визначає чи потрібен йому такий асистент. Поведінка інтерактивного помічника визначається за допомогою рекомендаційної системи в залежності від попередньої активності користувача, контексту та бізнес-інформації і реалізується через своєчасні персоналізовані підказки.

*Інші серверні модулі* представляють собою серверну частину додатку, що містять в собі бізнес-логіку додатку та базу даних об'єктів предметної області. Ця частина цілком залежить від особливостей додатку та його реалізації.

### **Практична реалізація запропонованої моделі**

Дана модель може бути реалізована за допомогою різних технологічних рішень та архітектур програмного забезпечення. Допускається реалізація різного набору модулів в залежності від вимог до рівня адаптації інтерфейсу.

Один з можливих варіантів реалізації даного рішення — це використання мікросервісної архітектури. Описані в моделі модулі виступають окремими мікросервісами. Програмне забезпечення побудоване за цією моделлю має кращі можливості для масштабування в порівнянні з класичним підходом. Оскільки модулі інтерпретатора адаптації можуть знаходитись під значним навантаженням від складних обчислень та численних запитів користувачів, доцільно запускати декілька екземплярів цих модулів для розподілення навантаження, що зменшує час реагування системи на дії користувача. Також такий підхід забезпечує надійність, тому що вихід з ладу одного екземпляру мікросервіса не призводить

до виходу з ладу всієї системи, і відносну простоту знаходження помилок в системі, так як реалізація модуля обмежена самим мікросервісом, а не всією системою. Такий підхід успішно реалізований інтернет-магазинами Amazon і Zalando і наразі апробується авторами в реальних веб-проектах.

### Висновок

В роботі запропоновано підхід до вирішення задачі побудови адаптивного веб-інтерфейсу користувача з використанням інтелектуальних компонентів. В порівнянні з традиційною моделлю така адаптивна модель дозволяє підвищити ефективність взаємодії користувача з веб-додатком за рахунок прискорення вирішення задач в додатку, зменшення кількості помилок в роботі, підвищення задоволеності від використання додатку та забезпечення людей з особливими потребами альтернативними каналами взаємодії з додатком. Запропонований варіант реалізації моделі передбачає використання сучасних розподілених програмних рішень у вигляді мікросервісів, що дозволяє використати концепцію масштабування, досягти модульності, гнучкості, високої швидкодії і безвідмовності системи.

### Список використаних джерел.

1. *Gullà F., Ceccacci S.* Design Adaptable and Adaptive User Interfaces: a Method to Manage the Information // Ambient Assisted Living: Italian Forum 2014. 2014. № 3, pp.2-4.
2. *Makris N.* Creating Adaptable and Adaptive User Interface Implementations in Model Driven Developed Software // Radboud University Nijmegen Press. 2014. № 3, pp.8-12.
3. *Ramachandran K.* Adaptive user interfaces for health care applications // IBM DeveloperWorks. 2009. № 2 (2009). С.2-5.
4. *Fowler M.* Microservices - a definition of this new architectural term [Електронний ресурс] // [martinfowler.com](http://martinfowler.com). 2014. URL: <https://martinfowler.com/articles/microservices.html>. Дата звернення: 28.3.2018
5. *Kim D.* Reinforcement Learning-Based Dynamic Adaptation Planning Method for Architecture-based Self-Managed Software / Dongsun Kim, Sooyong Park // 2009 ICSE Workshop on Software Engineering for Adaptive and Self-Managing Systems, 2009, pp.76-85.
6. *Романенко А.Ю.* Узагальнена модель розпізнавання голосових команд / А. Ю. Романенко, В. В. Олійник // Міжвідомчий науково-технічний збірник «Адаптивні Системи Автоматичного Управління», К: Політехніка – 2017. – Т.1, №30 – С. 130-139.

## **СИНЕРГІЯ ТА ТЕМПОДИНАМІКА ВДОСКОНАЛЕННЯ МОДЕЛІ КІБЕРНЕТИЧНИХ ЗАГРОЗ ЯДЕРНИХ ОБ'ЄКТІВ**

*Анотація:* Метою роботи є створення синергійної моделі проектних загроз інформаційній, кібернетичній та ядерній безпеці критично важливих об'єктів ядерної енергетики України. Для досягнення мети вирішуються завдання: формулювання принципів побудови проектної моделі кіберзагроз автоматизованим системам технологічного й адміністративного управління, важливих для забезпечення ядерної безпеки; складання переліку проектних кіберзагроз із урахуванням цільової діяльності підприємства, особливостей і вразливостей об'єктів ядерної сфери; розроблення формалізованої дискретної математичної моделі періодичного вдосконалення переліку проектних кіберзагроз.

*Ключові слова:* інформаційна безпека, кібербезпека, ядерна безпека, критично важливі об'єкти, проектні загрози, модель динамічної системи, циклічне управління.

### **Опис проблеми**

Набуття чинності закону України «Про основні засади забезпечення кібербезпеки України» вимагає вирішення задач кібербезпеки критично важливих об'єктів (далі – КВО) енергетики, зокрема атомних електричних станцій (далі – АЕС). Нормативною базою ядерної галузі визначено вимоги забезпечення безпеки АЕС за рахунок послідовної реалізації стратегії глибоко ешелонованого захисту, заснованого на застосуванні системи технічних та організаційних заходів бар'єрного захисту [1]. Вимоги щодо послуг і функцій ефективного забезпечення інформаційної безпеки інформаційних та керуючих систем, важливих для безпеки АЕС, знайшли своє відображення у [2]. На черзі – забезпечення кібернетичної безпеки на основі синергійних моделей проектних загроз інформаційній, кібернетичній та ядерній безпеці критично важливих об'єктів ядерної енергетики України.

### **Огляд існуючих моделей проектних загроз ядерної безпеки**

У доповіді на Всесвітньому економічному форумі 2016 року щодо кібербезпеки цивільних ядерних об'єктів (ЯО) зазначено: «Виклики кібербезпеки стали одною з ключових проблем для операторів КВО в усіх секторах. Стрімкий прогрес у нарощуванні потенціалу проактивних кібероперацій та різке зростання кількості інцидентів кібербезпеки на КВО вимагають невідкладних відповідних заходів. ... Кожен силовий блок на АЕС оснащений декількома підсистемами АСУ ТП (АСУ технологічними процесами), які необхідно інтегрувати між собою, а також

забезпечити безпеку й сумісність з корпоративним програмним забезпеченням (далі – ПЗ), яке відповідає за процеси управління та збору даних [3]».

В [4] відмічено з одного боку важливу роль МАГАТЕ з питань формування переліку проектних загроз ЯО, а з іншого зазначено, що «до 2009 року серед документів МАГАТЕ не було жодного, який було б присвячено питанням кібербезпеки». В Україні захист інформації тільки розпочинав набирати свого значення [5].

Досягнутий рівень науки і техніки, комп'ютеризації, автоматизації та телекомунікацій на жаль супроводжується новими загрозами й вразливостями для ядерної безпеки (далі – ЯБ). Наукові праці вітчизняних вчених, серія документів МАГАТЕ та інших організацій, що опубліковані після 2014 року, проводять принцип комплексування кібербезпеки з фізичною ядерною безпекою [6 – 8]. МАГАТЕ почало активне врахування питань кібербезпеки при визначенні проектних загроз (NSS 10). Іншими словами – головна ціль системи кібербезпеки, серед іншого, це захист від кіберзагроз системи забезпечення ЯБ. Неврахування синергійного підходу, який останнім часом відзначив свій розвиток [9, 10], до моделі загроз, аналізу ризиків, єдиної методології оцінювання безпеки систем технологічного та адміністративного управління у стандартах ядерного сектору не дозволяє продукувати відповідні політики, адекватні підходи та заходи із забезпечення кібербезпеки та фізичної ядерної безпеки (кіберфізичної ядерної безпеки). Набуває своєї актуальності вимога додати ще один бар'єр – розподілений інформаційно-кібернетичний бар'єр, що доповнить глибоко ешелонований захист АЕС. Труднощі, що виникають при отриманні гармонізованих між собою моделей проектних загроз, вимагають глибокої наукової і методичної проробки.

*Метою роботи* є створення синергійної моделі проектних кіберзагроз ядерної безпеки АЕС та динамічної математичної моделі циклічних процесів вдосконалення номенклатури загроз із врахуванням оновлених пріоритетів інформаційної, кібернетичної та ядерної безпеки.

Для досягнення поставленої мети були сформульовані та вирішені наступні задачі: формулювання принципів побудови проектної моделі кіберзагроз автоматизованим системам технологічного й адміністративного управління, важливим для забезпечення ядерної безпеки; складання синергійного переліку кіберзагроз із врахуванням факторів цільової неперервної діяльності підприємства, особливостей вразливостей об'єктів ядерної сфери; розробка дискретної нелінійної математичної моделі циклічного процесу вдосконалення номенклатури проектних кіберзагроз.



## Основна частина

### 1. Принципи побудови моделі проектних кіберзагроз

Зважаючи на специфіку, особливості і високу потенційну небезпечність ЯО, на всіх етапах «життєвого циклу» необхідно дотримуватись таких принципів, більшість з яких закріплені нормативно-законодавчими актами або є результатом наукових досліджень:

1. «Дотримання принципів культури безпеки досягається шляхом встановлення пріоритету ЯБ над економічними та виробничими цілями ... і пов'язані з необхідністю всебічної оцінки безпеки [1, 11]». Відповідно цілі кібербезпеки мають бути підпорядковані цілям ЯБ, а прийняття рішень повинно здійснюватись виключно в інтересах ЯБ, а вже потім в інтересах забезпечення неперервності бізнесу та інших цілей. «Необхідно, щоб цілі (кібер)безпеки були узгоджені з визначеними цілями призначення [див. 10]» ЯО, із задачами ЯБ, а також з відомостями щодо фізичного середовища ядерних установок (ЯУ).

2. Принципи апробованості програмних й інженерно-технічних практик, консервативного підходу та врахування нових науково-технічних даних. Принципу апробованості відповідають, наприклад, галузеві СОУ щодо інформаційної безпеки Національного банку України, побудовані на базі міжнародних стандартів серії ISO/IEC 2700x. Вони можуть бути зразками для СОУ АЕС. Проектування конструкцій, систем, елементів, ПЗ, засобів кібербезпеки повинно здійснюватись на основі консервативних підходів [1].

3. Принципи актуальності та ефективності. Мета системи кібербезпеки «гарантувати, що автоматизовані системи та комунікаційні мережі, необхідні для надійного постачання електроенергії у країні, **розумно** захищені від атак із різноманітних ймовірних джерел загроз, а також підтримується життєздатність та ефективність такого захисту». Це досягається комплексним впровадженням різних захисних заходів, організаційних і технічних, управлінських та юридичних, застосованих у правильний час і у правильному місті і лише після всебічного вивчення об'єктів захисту та ризиків, які з ним пов'язані [4].

4. Принцип антропо-центричності. Середовище безпеки включає всі закони, політики безпеки організацій, досвід, спеціальні навички та знання, для яких вирішено, що вони мають відношення до безпеки та загроз безпеки. До уваги слід приймати всі різновиди загроз, але найбільшу увагу приділяють загрозам, які пов'язані з навмисними чи ненавмисними діями людини. Саме останні загрози несуть непоправимі наслідки на КВО [10].

5. Принцип комплексності, інтеграції та конвергенції видів безпек з ядерною безпекою АЕС. Трансграничність атак, складність внутрішньої ІТ-інфра-

структури ЯО та висока інтенсивність потоків даних вимагають комплексного та всеохоплюючого підходу до кібербезпеки, який принципово виходить за рамки тільки лише реагування на інциденти. Перед усім встановлюється взаємозв'язок безпеки АЕС з фізичною безпекою. Вимога 8 з [12] встановлює: «Заходи із забезпечення безпеки, фізичної ЯБ та механізми для державної системи обліку та контролю ядерного матеріалу повинні розроблятися та здійснюватися на комплексній основі таким чином, щоб одні не здійснювались на шкоду другим».

Одночасно діє вимога 64 з [12]: «Взаємовплив систем захисту та систем управління на АЕС повинен бути попередженим за допомогою поділу, шляхом виключення взаємозв'язків або забезпечення відповідної функціональної незалежності». Обговорюється інтеграція безпеки ПО в систему фізичної ЯБ [13], агентство розробляє додаткові керівні матеріали з фізичної ЯБ, які стосуються комп'ютерної безпеки. У матеріалах конференції МАГАТЕ [14, 15] відмічені три напрями забезпечення кібербезпеки, які є важливими складовими забезпечення безпеки ЯО:

- кібербезпека АСУ ТП ЯО. Модель кіберзагроз АСУ ТП має характерні риси для КВО і, крім того, враховує специфіку, особливості, задачі ЯБ та цільової діяльності ЯО. Методична, нормативна та технічна база цього напрямку в Україні вже має певні напрацювання і деякі випробувані зразки. Позначається [15], що в цьому напрямку є проблеми недостатньої обізнаності щодо загроз та засобів захисту як у ядерній галузі в цілому, так і у спеціалістів, що експлуатують АСУ ТП на АЕС. Має місце нездатність професіоналів в області кіберпростору і спеціалістів, які проектують та експлуатують ЯУ, знайти спільну мову та ефективно співробітничати. Тим більше, що відсутня постійна практика такого співробітництва [15];

- кібербезпека інформаційних та керуючих систем. Слід розрізняти системи телеметричного контролю для збору й аналізу даних та автоматизовані системи, а нині інформаційно-телекомунікаційні системи, для адміністративного управління (наприклад, системи документообігу, бухгалтерські системи тощо). Тут придатна модель загроз типового державного підприємства з поправками на встановлений режим. Головне у тому, щоб врахувати віртуальні не прямі зв'язки з фізичним захистом та захистом АСУ ТП. Наприклад, дані про переміщення ядерного матеріалу можуть зберігатись у базі даних адміністративного управління;

- кібербезпека систем фізичного захисту ЯО. Важливість даного напрямку тільки починає усвідомлюватись спеціалістами за мірою автоматизації фізичного захисту. Для ефективного забезпечення безпеки набуває свого значення ще один бар'єр – розподілений інформаційно-кібернетичний бар'єр, що має доповнити

глибоко ешелонований захист АС. Гостра проблема полягає в тому, що спеціалісти з кібербезпеки повинні освоїти уявлення про системи ФЯБ й особливості проектування та функціонування АСУ ТП ЯО. А проєктувальникам та експлуатаційному персоналу ЯУ, відповідно – освоїти уявлення щодо заходів забезпечення кібербезпеки. Взаємний обмін обізнаністю має привести до відсутності конфліктів між заходами фізичної ЯБ (далі – ФЯБ) та кібербезпеки, включаючи заходи з реагування на несанкціоновані дії, заходи з обслуговування та управління системами тощо. Крім того, поставлена задача з розробки методик й інструментів, спрямованих на об'єднання процесів аналізу вразливостей у обох сферах забезпечення безпеки ядерних об'єктів. Потрібно виявляти програмно-технічні засоби, ланцюги обладнання та мережі, способи фізичного доступу до них, через які здійснюються трансграничні кібератаки, і включати такі ланцюги у перелік елементів захисту систем ФЯБ.

6. Принцип функціональної повноти заходів захисту. У матеріалах конференції МАГАТЕ виділено три напрями забезпечення кібербезпеки, важливі для забезпечення безпеки ЯО (див. принцип 5). Але ці три напрями не складають функціонально повної системи забезпечення кібербезпеки АЕС. На відміну від задач і об'єктів інформаційної безпеки АЕС об'єктом забезпечення кібербезпеки стає кіберпростір. Його важливі складові: це локальні інформаційно-комунікаційні системи та телекомунікаційна системи.

Значну частину кіберпростору займають телекомунікаційні системи та мережі, які створили по суті телекомунікаційне середовище, а також мережу Інтернет. Телекомунікаційне середовище створює певні проблеми безпеки і є джерелом загроз. Кібератаки здійснюються через телекомунікаційні системи, прямо, чи опосередковано через флеші, або через мобільні телефони, підключені з метою підзарядки до апаратних засобів локальної обчислювальної мережі АЕС.

## **2. Вразливості ядерного об'єкта від кіберзагроз**

«Аналіз останніх інцидентів виявляє ряд основних тенденцій. У відношенні до ЯУ переважають кіберзагрози підвищеної складності, використовуються інструменти кібершпигунства та цілеспрямовано обираються цілі серед критичних систем та співробітників ЯО. Сучасне деструктивне ПЗ є багатомодульним і легко модифікується. Кібератаки стали постійними загрозами підвищеної небезпеки, їх життєвий цикл» досяг декількох років. Крім звичайних загроз сформовано загрози специфічних інцидентів на ЯО». Автори доповіді [3] виділяють такі причини росту вразливостей кібербезпеки КВО: масштабний і все ще триваючий перехід на цифрові системи управління виробничими та технологічними процесами (ВТП); практика підключення офісних і навіть промислових корпоративних мереж до Інтернет, а в подальшому – до Інтернету речей; повсюдне розповсю-

дження мобільного зв'язку; використання віддаленого управління; проблема контролю та довіри до постачальників обладнання систем управління, контролю, комунікацій та ПЗ. До цього додамо, що телекомунікаційні системи та мережі поки що є «постачальниками» анонімності, не гарантована в реальному часі ідентичність кожної з транзакцій і неспростовність від участі в обміні.

КВО ядерної енергетики характеризуються виключно високим рівнем інфраструктурної складності «інформаційних систем ядерних установок, які включають сотні систем управління ВТП та багато тисяч датчиків на кожен АЕС [3]». Це створює організаційну і техногенну загрозу безпеці ядерних КВО.

Унікальні і такі, що не мають аналогів для кожного об'єкта атомної енергетики, архітектурні рішення у сфері забезпечення кібербезпеки та мережевої безпеки суттєво обмежують можливості застосування попереднього досвіду та кращих практик.

### **3. Модель порушника кібербезпеки та класифікація загроз**

Кібератаки та напади на АСУ ТП здійснюються за допомогою програмно-технічних засобів, телекомунікаційних мереж та Інтернет. Специфікою потенційних кібератак у ядерній галузі «може бути: практика регулювання діяльності ЯО, що склалася; технічні особливості їх функціонування, зокрема, необхідність неперервного функціонування технологічних процесів протягом тривалого часу; відокремленість та закритість ядерної галузі; недостатня обізнаність працівників ЯО щодо кіберзагроз та їх потенційних наслідків для безпеки радіоактивних матеріалів та ЯУ а також хибна думка про захищеність ЯО від кіберзагроз» тим, що вони та їх АСУ ТП фізично відокремлені від інформаційних мереж. «Крім того, на ядерних об'єктах автоматизованими являються системи фізичного захисту ЯО, обліку та контролю ядерних матеріалів, різні системи документообігу та бухгалтерського обліку [15]». Кібератака може привести до припинення функціонування АСУ ТП, до виконання її функцій з параметрами, які не спостерігаються операторами або до нештатного виконання команд оператора.

Протиправні дії у відношенні до об'єктів, які підлягають захисту, можуть скоїти різні зловмисники. Їх розподіляють на рівні від «технічно не грамотних фанатів-одинаків до добре озброєних злочинних груп, які володіють знаннями та технологіями, що потрібні для управління ЯУ, які мають можливість віддаленого доступу до управління системами об'єкта захисту та які діють у змові з персоналом АЕС».

«Проектні загрози» ЯБ та сценарії їх здійснення повинні аналізуватись для кожного конкретного об'єкта із врахуванням соціальної та криміногенної обстановки, інформаційних та кіберзагроз безпеки, які визнані на рівні держави

Міжвідомчий науково-технічний збірник «Адаптивні системи автоматичного управління» № 1' (32) 2018 та галузі, степеню ризику для потенційних наслідків аварій та можливих шляхів впливу на елементи ЯУ з метою викликати ядерний інцидент.

«Кібератаки можуть здійснюватись віддалено, або з території ЯО. В останньому випадку зловмиснику необхідно отримати фізичний доступ до елементів ЯУ або приєднати носій із зловмисним ПЗ до елементів установки. Простіше за все зробити це при сприянні персоналу ЯО або підрядних організацій [15]». Можливе зараження зловмисним ПЗ через електронну пошту.

В Україні і міжнародній спільноті «відсутня універсальна таксономія та класифікація кібернетичного впливу на ЯУ та й на інші типові об'єкти. Сучасні АСУ ТП класифікують з урахуванням їх впливу на безпеку АЕС. За впливом АСУ ТП, як елемента АЕС, на безпеку зазвичай класифікують за чотирма класами. Проектні загрози потрібно розподіляти за цими класами. За своїми цілями кібернетичні загрози (КЯБ) поділимо на розвідувальні, підготовчі, знищувальні або аварійні, терористичні, а також на крадіжку ядерних матеріалів, на порушення бізнес-процесів ЯО або руйнування іміджу об'єкта, як надійно захищеного від зловмисних впливів, на завдання фінансових, репутаційних чи моральних збитків, на доступ, знищення, модифікацію, блокування чи копіювання інформації або комбіновані. Орієнтовний перелік загроз КЯБ складено на основі аналізу інцидентів з безпекою, проведеного вітчизняними та зарубіжними спеціалістами [15, 16 та іншими]. Перелік може стати базою для множини *проектних загроз*.

#### **4. Номенклатура проектних загроз кібернетичної ядерної безпеки**

Для забезпечення ЯБ на ЯО проектуються і створюються системи ЯБ, які включають обладнання, ПЗ, персонал та регламенти. Початковими даними для проектування таких систем є результати аналізу вразливостей та загроз ЯО, включаючи опис сценаріїв здійснення загроз.

*А. Загрози з метою спровокувати аварію з неприйнятними радіаційними наслідками:*

1) кібератаки на АСУ ТП ядерної установки, які направлені на: спотворення (змінення) або блокування управляючих команд; блокування доступу оператора до інформації щодо стану ЯО або спотворення такої інформації; перепрограмування промислових контролерів. Все це також з метою ініціювання аварії або створення умов для виникнення аварійної ситуації;

2) кібератаки на автоматизовані системи ФЯБ, систему фізичного захисту та систему обліку й контролю ядерних матеріалів, включно, з метою: порушення функціонування системи фізичного захисту (ФЗ) та/або обліку та контролю для скоєння диверсій; віддаленого відключення засобів контролю й управління доступом до приміщень з елементами, які захищаються; зміни налаштувань вимірювальних систем, які застосовуються для обліку й контролю ядерних матеріалів;

3) кібератаки на АСУ ТП ЯО, доступ, знищення або фальсифікація даних для можливості зловмисникам здійснити диверсію;

4) загроза отримання віддаленого доступу до автоматизованої системи та управління елементами системи ФЗ за допомогою програмного забезпечення для створення VPN, яке застосовується постачальником системи ФЗ, IP-адрес обладнання системи ФЗ, імен користувачів та паролів, що використовуються за умовчанням або встановлення безпосереднього зв'язку з іншими мережами;

5) загроза отримання даних щодо доступу. Ця інформація може бути отримана у різний спосіб, включаючи кібератаки на постачальників обладнання, підкуп, оману або шантаж персоналу. Далі, шляхом віддаленого управління елементами ФЗ зловмисники можуть забезпечити собі безперешкодний прохід у зони ЯО, що охороняються, для скоєння диверсії або крадіжки та вихід із них, одночасно заблокувавши прохід для персоналу. Можливі маніпуляції з камерами відслідкування;

6) загроза компрометації (наприклад, кібератаки, маніпуляції або фальсифікації) комп'ютеризованих систем, які використовуються для забезпечення ФЗ, ядерної безпеки, а також обліку та контролю ядерних матеріалів, для саботажу або диверсій [16].

*Б. Загрози крадіжки ядерних матеріалів:*

1) кібератаки на автоматизовані системи ФЯБ, систему ФЗ та систему обліку й контролю ядерних матеріалів, включно, з метою: порушення функціонування системи ФЗ та/або обліку та контролю для підготовки крадіжки радіоактивних матеріалів; зокрема, віддалене відключення засобів контролю й управління доступом до приміщень з елементами, які захищаються; зміни налаштувань вимірювальних систем, які застосовуються для обліку й контролю ядерних матеріалів;

2) кібератаки на автоматизовані інформаційні системи ЯО: доступ, знищення або фальсифікація даних, зокрема даних щодо інвентарної кількості ядерних матеріалів, для можливості здійснити крадіжку та приховати факт крадіжки на якомога більший термін;

3) загроза несанкціонованого доступу до системи документообігу ЯО з метою розвідки відомостей щодо графіка проведення техобслуговування елементів системи ФЗ, інформаційного та кібернетичного захисту, транспортування ядерних матеріалів, порядку дій персоналу по виявленню та припиненню несанкціонованих дій;

4) загроза компрометації корпоративної мережі шляхом розсилки у внутрішній мережі підприємства фішингових повідомлень, через які може бути завантажено шкідливе ПЗ, здатний викрасти креслення та схеми ЯУ. Далі така інформація дозволить правопорушникам виявляти способи диверсії або крадіжки;

5) загроза компрометації комп'ютеризованих систем, важливих для забезпечення ФЗ, ЯБ, а також обліку та контролю ядерних матеріалів, для несанкціонованого вилучення при використанні та зберіганні ядерних та інших небезпечних матеріалів [16].

*В. Загальні та інші загрози:*

1) загроза довіри до десятків і сотень ІТ – постачальників і необхідність забезпечення цілісності ланцюжків поставок ІТ – продукції, особливо для АСУ ТП, через практичну неможливість здійснення всеохоплюючої повної перевірки контролерів, дистанційних терміналів, маршрутизаторів, програмних застосувань і програмних комплексів по управлінню технологічними процесами тощо, на прихований функціонал, шкідливе ПЗ забезпечення або помилки.

2) загроза проникнення шкідливого ПЗ. Точка входу може бути одна, а розповсюджується це ПЗ по всій системі або мережі.

3) загроза отримання інформації або державних інформаційних ресурсів, що підлягають захисту згідно законодавства, персональних даних персоналу АЕС, даних щодо постачальників та продукції, що поставляється, звітної інформації, інших документів, які містять інформацію з обмеженим доступом.

#### **5. Моделювання темподинаміки вдосконалення переліку проектних загроз**

Процес створення переліку проектних загроз повторюється циклічно задля його вдосконалення, вираховування нових загроз і науково-технічних досягнень. Цикл включає етапи: визначення задач безпеки; визначення процесів цільової діяльності (експлуатаційних технологічних процесів); складання переліку і визначення цінності об'єктів захисту; складання переліку зловмисників і засобів нападу на захист; складання, власне, переліку загроз та ризику їх реалізації; складання переліку засобів і організаційних заходів безпеки тощо.

Відомо, що соціальні, економічні, політичні тощо процеси є нелінійними, рефлексивними і залежать від багатьох зворотних зв'язків. *Мета задачі моделювання* полягає у якісному визначенні за яких умов процес вдосконалення переліку проектних загроз може сам стати загрозою процесові забезпечення кібербезпеки.

Прототипом для такої моделі буде система менеджменту якості, в аспекті постійного поліпшення її результативності на основі процесно-орієнтованого підходу, вимоги до якої сформульовані у стандарті ДСТУ/ISO 9001:2015. Для зниження відхилень процесів застосовують в управлінні, наприклад, концепцію PDCA (плануй (Plan), роби (Do), перевіряй (Check), дій (Act)). Основними елементами циклу PDCA є: P – визначення цілей та прийняття рішення щодо необхідних змін (розробка плану); D – здійснення змін (втілення плану); C – оцінка та аналіз результатів (контроль виконання плану); A – проведення необхідних дій, якщо результати не відповідають запланованим, або стандартизація дій

у випадку успіху (коригування плану). Цикли PDCA та процесу вдосконалення переліку проектних загроз (ВППЗ) інтерпретуються взаємно однозначно. У циклічній схемі управління процесом ВППЗ є певне запізнювання, проявляються різні нелінійні явища. Ці явища можуть негативно впливати на надійність системи ВППЗ і всієї системи управління кібербезпекою. Подібна задача вирішувалась стосовно циклічного управління кібербезпекою в [17] і стосовно управління колективною та індивідуальною свідомістю громадян у [18]. «Ефективність людської дії здебільшого залежить від правильного управлінського рішення, що, у свою чергу, залежить від інформаційного моделювання ситуації, від пошуку потрібної інформації та її переробки. Лавиноподібне зростання інформаційних потоків, в яких змішувались потрібна і непотрібна інформація («інформаційні шуми»), у значній мірі утруднив поведінку людини та висунув на передній план вибіркового пошуку потрібної інформації з наступною її редукцією для прийняття тих чи інших рішень [19, с. 142]».

У процесі ВППЗ збирається, обробляється і генерується інформація щодо загроз, механізмів захисту, дій персоналу тощо. Інформація поступає у вигляді документів, повідомлень, які утворюють дискретний потік. Тому модель має формуватись за допомогою, так званих, дискретних відображень. Оберемо найпростіші нелінійні дискретні відображення, які вперше дослідив Фейгенбаум [20]. Будемо розглядати деякий аналітичний процес управління від моменту часу, коли на початку циклу управління в момент  $t_0$  на вхід управляючого елемента системи подався вектор вхідних сигналів  $\mathbf{X}_0 = \{x_{01}, x_{02}, \dots\}$ , обчислено результат  $\mathbf{S}_0$ , на виході управляючого елемента системи маємо вектор вихідних сигналів  $\mathbf{Y}_0(\mathbf{S}_0)$ . Припустимо, що сума  $\mathbf{S}$  та вихідний сигнал  $\mathbf{Y}_0(\mathbf{S}_0)$  запам'ятовується у системі.

Функціонал перетворень в управляючому циклі нам невідомий. Щоб вивчити вклад управляючого елемента в процес управління, будемо вважати, що, у найпростішому випадку, всі інші перетворення в управляючому елементі однозначні і мають адитивний характер. Тоді, в кінці циклу управління в момент часу  $t_1$ , після закінчення перехідних процесів, маємо вектор вхідних сигналів  $\mathbf{X}_1 = \{x_{11}, x_{12}, \dots\}$ , встановлюється сума  $S_1$ , на виході управляючого елемента системи маємо вихідний сигнал  $Y_1(S_1)$ . При цьому,  $S_1 = S_0 + s_{in}$ , де  $s_{in}$  – зміна суми  $S$  під впливом потоку управління. Задамо найпростіше нелінійне правило переходу від  $Y_0(S_0)$  до  $Y_1(S_1)$  таким чином, щоб зміна суми  $S$  за один крок в одному управляючому елементі циклу записувалася так:

$$S_1 = \frac{dy}{dS} = \alpha S_0 (1 - S_0) + s_{in}. \quad (1)$$

Провівши ітераційні перетворення, у загальному вигляді отримуємо формулу



$$S_{n+1} = \alpha S_n (1 - S_n) + s_{in}, \quad (2)$$

де  $n$  – номер ітерації, яке має смисл дискретного модельного часу;  $\alpha$  – параметр, який називають коефіцієнтом росту.

Таким чином, отримано одномірне дискретне відображення із вхідним потоком. Якщо  $s_{in} = 0$ , то маємо одномірне дискретне відображення, яке наливають *логістичним відображенням* і яке ретельно проаналізоване у численних публікаціях [21]. Зокрема відомо, що при невеликих значеннях  $\alpha$  ( $0 < \alpha < 1$ )  $S_n \rightarrow 0$  при  $n \rightarrow \infty$ , незалежно від вибору початкового значення  $S_0$ . Існують нерухомі точки, для яких справедлива рівність

$$S^* = \alpha S^* (1 - S^*). \quad (3)$$

При  $\alpha < 1$  квадратне рівняння (3) має один невід'ємний корінь  $S^* = 0$ . Нерухома точка стійка. При  $\alpha > 1$  невід'ємних коренів два:  $S^* = 0$  і  $S^* = (\alpha - 1) / \alpha$ . При  $\alpha = 1$  нерухома точка  $S^* = 0$  втрачає стійкість, а нова нерухома точка стає стійкою. При цьому, із збільшенням  $\alpha$  виникають коливання. Управляючий елемент буде видавати по черзі два рішення. При подальшому збільшенні  $\alpha$  виникають наступні біфуркації подвоєння періоду за сценарієм Фейгенбаума та детермінований хаос.

Тепер розглянемо найпростішу модель циклового інформаційного процесу управління, який складається з двох етапів:

- аналізу інформаційного потоку даних ВППЗ (відбір потрібної інформації, редукція, консолідація, переробка) –  $x_{in}$ . Інтенсивність дискретного інформаційного потоку управляючого елемента цього етапу позначимо за  $x$ ;

- прийняття рішень та обробки вихідного інформаційного потоку для корекції заходів захисту (формування та видача управлінського рішення) –  $x_{out}$ . Інтенсивність дискретного інформаційного потоку управляючого елемента цього етапу позначимо за  $y$ .

Врахуємо прямі та зворотні зв'язки між управляючими елементами циклу за допомогою коефіцієнтів двох типів.

Коефіцієнти  $p, q$  характеризують синтаксичну обробку інформації (форми, списки, таблиці тощо). Коефіцієнти  $k_{ij}$  характеризують семантичну обробку інформації, коли робляться висновки, нові рішення, виникає нова інформація. Після простих перетворень наша математична модель динамічної системи  $\Phi(x, y)$  приводиться до такого вигляду:

$$\Phi(x, y) = \begin{cases} x_{n+1} = x_n - k_{xy} p x_n^2 + k_{yx} q y_n^2 + x_{in} \\ y_{n+1} = y_n + k_{xy} p x_n^2 - (k_{yx} + k_{out}) q y_n^2 \end{cases}, \quad (4)$$

де  $x, y$  – динамічні змінні, які визначають інтенсивність інформаційних елементів

потоків на етапах обробки інформації;  $k_{ij}$  – перехідні коефіцієнти, що характеризують динамічну взаємодію етапів обробки інформації;  $p, q$  – розподільчі коефіцієнти,  $x_{in}$  – інтенсивність інформаційних елементів потоку, що поступають на перший етап обробки; причому,  $\{k_{ij}\}$  і  $\{p, q\} \in (0,1)$ ,  $\{x, y\} \in R$ ,  $x_{in} = const \in R^+$ .

Наявність у системі двох груп коефіцієнтів ( $k_{ij}$  та  $p, q$ ) має конкретну фізичну інтерпретацію: коефіцієнти  $k_{ij}$  описують відносну величину редукції і консолідації інформації за синтаксичними ознаками, наприклад, форматами відомостей і повідомлень, та задають долю інформаційного потоку, який переходить з одного етапу на сусідній. Частина інформаційного потоку переходить на попередній етап обробки для виправлення неточностей, врахування зауважень тощо. Коефіцієнти  $p, q$  описують розподіл елементів інформаційного потоку за їх видами по семантичним ознакам, наприклад, за змістом. Перехід між етапами обробки у нелінійній системі визначається добутком коефіцієнтів обох груп.

Методи дослідження дискретних відображень проаналізовані у численних публікаціях [22, 21]. Напрямок подальших досліджень є дослідження поведінки динамічної системи та вироблення рекомендацій щодо частоти процедур та тривалості циклу вдосконалення переліку проектних загроз.

## Висновки

Створена синергійна модель проектних кіберзагроз ядерної безпеки АС та динамічна математична модель циклічних процесів вдосконалення переліку загроз із врахуванням нових пріоритетів інформаційної, кібернетичної та ядерної безпеки. Складено синергійний перелік кіберзагроз із врахуванням цільової неперервної діяльності підприємства, особливостей вразливостей об'єктів ядерної сфери та кращих практик, технік і технологій безпеки. Розроблена дискретна математична модель вдосконалення переліку проектних кіберзагроз. Напрямок подальших досліджень *планується* знаходження емерджентних властивостей системи оцінки ризиків безпеки на основі синергійної моделі проектних загроз та виведення узагальненого синергійного показника безпеки.

## Список використаних джерел

1. НП 306.2.141-2008. Загальні положення безпеки атомних станцій / Норми та правила з ядерної та радіаційної безпеки. – К.: Державний комітет ядерного регулювання України. – 2008. – 62 с.
2. НП 306.2.202-2015. Вимоги з ядерної та радіаційної безпеки до інформаційних та керуючих систем, важливих для безпеки атомних станцій. – К.: Державний комітет ядерного регулювання України. – 2015. – 42 с.;

3. Кибербезопасность гражданских ядерных объектов: оценка угрозы и пути ее преодоления / ПИР-центр // Индекс безопасности № 3 – 4 (118-119) том 22. – С. 63 – 78. (Кибербезопасность гражданских ядерных объектов: оценка угрозы и определение дальнейших шагов / Резюме доклада ПИР-центра на ВЭФ. Москва – Женева, 2016. 4 с. – Режим доступа: [pircenter.org/media/content/files/13/14875347670.pdf](http://pircenter.org/media/content/files/13/14875347670.pdf).)

4. Лукацкий Евгений. Кибербезопасность ядерных объектов / Евгений Лукацкий // Индекс безопасности – № 4 (115), – Том 21. – С 113 - 126.

5. Бурлаков В. М. Модель гармонізованого стандарту захисту інформації в системах управління ресурсами підприємства / В. М. Бурлаков, О. О. Кернасовська // «АСАУ», № 12'(32), 2008. – С. 16 – 24.

6. Бірюков Д. С. Вплив сучасних кіберзагроз на ефективність систем фізичного захисту критично-важливих об'єктів та інфраструктури / Д. С. Бірюков, В. М. Бурлаков // «АСАУ», № 21'(41), 2012. – С. 9 – 17.

7. NST045 (Комп'ютерна безпека для фізичної ядерної безпеки) Computer security for nuclear security, IAEA Nuclear Security Series No. XX 1, IAEA, Vienna, DRAFT, 2016. – 76 p. (Документ переглядає та уточнює NSS 17).

8. NST047 (Методи комп'ютерної безпеки для ядерної безпеки) Computer security techniques for nuclear facilities, IAEA Nuclear Security Series No. XX 1, IAEA, Vienna, DRAFT, 2017. – 124 p.

9. Евсеев С. П. Модель нарушителя прав доступа в автоматизированной банковской системе на основе синергетического подхода / С. П. Евсеев // Научно-технический журнал «Информационная безопасность». – Северодонецк. – 2017.- №2(26). – С. 110 – 120.

10. Евсеев С. П. Методология оценивания безопасности информационных технологий автоматизированных банковских систем Украины / Сергей Евсеев // Украинский научный журнал информационной безопасности. 2016, том 22, вып. 3. – С. 297 – 309.

11. Ястребенецький М.О. Методика оцінки відповідності інформаційних і керуючих систем, важливих для безпеки атомних станцій, вимогам з ядерної та радіаційної безпеки / ГНД. 306.7.02/2.041-2000. – К.: Мін. екології та природних ресурсів України. – 2000. – 43 с.

12. МАГАТЭ SSR-2/1. Безопасность атомных электростанций: Проектирование. Конкретные требования безопасности // Серия норм безопасности МАГАТЭ № SSR-2/1. – МАГАТЭ: Вена, 2018. – 116 с.

13. Park J. A Development Framework for Software Security in Nuclear Safety Systems: Integrating Secure Development and System Security Activities / Jaekwan Park, Yong-suk Sun // Nuclear Engineering and Technology, Vol. 46 No.1 February, 2014. – P. 47-54. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1738573315300899>.

14. Secure Computer Systems Essential to Nuclear Security, Conference Finds (Press Release) // International Atomic Energy Agency. 8 June 2015. – 3 p. – Режим доступа: <https://www.iaea.org/newscenter/news/secure-computersystems-essential-nuclear-security-conference-finds>.

15. Михайлова Ольга. Киберугрозы и физическая ядерная безопасность / Михайлова Ольга // Индекс безопасности – № 1 (116), – Том 22. – С 93 - 106.

16. МАГАТЭ (INFCIRC/225/Revision 5). Рекомендации по физической ядерной безопасности, касающиеся физической защиты ядерных материалов и ядерных установок. Рекомендации / Серия изданий по физической ядерной безопасности, № 13. МАГАТЭ № SSR-2/1. – МАГАТЭ: Вена, 2012. – 88 с.

17. Кононович В.Г. Нелінійні моделі циклічного управління кібербезпекою / В. Г. Кононович, І. В. Кононович, А. І. Міхова // «Інформаційні управляючі системи та технології» (ІУСТ – ОДЕСА – 2015). Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, 22 – 24 вересня 2015 р., Одеса / відп. ред. В. В. Вичужанін. – 2015. (– 336 с.). – С. 171 – 173.

18. Кононович В. Г. Модель системы информационной безопасности консолидированной информации при информационном противоборстве (Раздел 16) / В. Г. Кононович, И. В. Кононович // Информационные технологии и защита информации в информационно-коммуникационных системах: монография / под редакцией В. С. Пономаренко – Х.: Вид-во ТОВ «Щедра садиба плюс», 2015. (– 486 с.) – С. 220 – 233.

19. Информационная безопасность системы организационного управления. Теоретические основы: в 2 т. / Н. А. Кузнецов, В. В. Кульба, Е. А. Микрин и др.; [отв. ред. Н. А. Кузнецов, В. В. Кульба]; Ин-т проблем передачи информ. РАН. – М.: Наука, 2006. Т. 1 – 495 с.

20. М. Фейгенбаум Универсальность в поведении нелинейных систем. (Feigenbaum M. J. Universal Behavior in Nonlinear Systems. — Los Alamos Science. 1980, v. 1, No. 1, pp. 4–27.) Перевод С. Г. Тиходеева. <http://ega-math.narod.ru/Nquant/Feigen.htm#note>.

21. Малинецкий Г.Г. Математические основы синергетики. Хаос, структуры, вычислительный эксперимент. / Г.Г. Малинецкий. – М.: КомКнига, 2005. – 312 с.

22. Табор М. Хаос и интегрируемость в нелинейных системах / Табор Михал. Пер. с англ. – М.: Эдиториал УРСС, 2001. – 320 с.

## **ЗАВДАННЯ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ТА СТРУКТУРИ СЦЕНАРІЮ ВИКОНАННЯ ПРОЦЕСУ ДІЯЛЬНОСТІ**

*Анотація:* Розглянуто завдання визначення параметрів та структури сценаріїв виконання процесів діяльності по критерію максимізації цільових показників діяльності. Постановка та вирішення завдання.

*Ключові слова:* моделювання складних систем, показники діяльності, Process mining.

### **Вступ**

Представники бізнесу як проблеми так і цільові стани процесів діяльності визначають у вигляді структури показників. В результаті динаміки бізнес середовища, щоб досягти цих показників персоналу приходиться все частіше і частіше встановлені раніше послідовності виконання кроків (модель) процесу діяльності замінювати на точки прийняття рішень. До цього призводить зростання складності бізнеса як об'єкта управління і відповідно невизначеності функції відображення результату виконання конкретної операції діяльності та вибору шляху продовження процесу на результуючі показники. Таким чином виникає певна складність у експертному оцінюванні корисності прийняття рішень про вибір конкретного напрямку продовження сценарію виконання процесу діяльності для певних вхідних обставин події вибору.

### **Постановка задачі**

Розглянемо завдання визначення параметрів та структури сценарію виконання процесу діяльності по критерію максимізації цільових показників діяльності. Визначимо типи ситуацій у пунктах сценарію виконання процесу:

1. Ситуація відома і відомі кількісні наслідки відомих рішень. Працівник діє за визначеною моделлю і відомими значеннями параметрів.

2. Ситуація відома і відомі якісні наслідки відомих рішень. Працівник діє за визначеною моделлю і підбирає значення параметрів згідно досвіду та інтуїції. Тут вибір значень параметрів відбувається через порівняння з минулими ситуаціями та отриманими наслідками вибору. Можливо визначити статистичну залежність від значень показників да допомогою процедур Data Mining.

3. Ситуація відома але не відомі наслідки через відсутність визначеної залежності встановлених показників результату процесу від прийнятого рішення. Працівник діє за визначеною моделлю і підбирає значення відомим параметрам

чи додатково перевизначає параметри. Параметри визначаються інтуїтивно через наявність знань про подальший перебіг процесу, тобто рівня досвідченості працівника. Тут також можна скористатися статистикою.

4. Ситуація невідома. Працівник діє за наявною моделлю і перевизначеними параметрами чи за інтуїтивною моделлю. Параметри визначаються інтуїтивно через наявність знань про ситуацію прийняття рішення та вплив на подальший перебіг процесу, тобто рівень досвідченості працівника.

В поданих ситуаціях, окрім першої, на прийняття рішення впливає визначення близькості даної ситуації з минулими (ступенем новизни). І ця близькість встановлюється за значеннями наступних параметрів:

1. Множина вхідних даних прийняття рішення;
2. Множина відомих показників, що характеризують прийняте рішення;
3. Множина можливих шляхів розгалуження процесу після даної точки сценарію;

4. Наявність функціональної, статистичної, алгоритмічної, чи іншої формалізованої залежності показників результату від множини показників результатів прийняття рішень на поточному кроці сценарію діяльності.

Для кожного з визначених вище типів у сценарії виконання процесу можна визначити ці параметри через використання журналів діяльності та зафіксовані правила проходження сценарію. Наприклад, у компаніях, що займаються ІТ підтримкою діяльності клієнтів, на першій ланці працівники діють за чіткою інструкцією при кожному зверненні. Якщо у базі знань є опис подібної ситуації і позитивного шляху її вирішення, вони пояснюють шлях вирішення клієнтові. Якщо такого опису немає, фіксують запит і передають наступній ланці прийняття рішення. Це ситуація 1.

Однак треба звернути увагу на той факт, що у ситуаціях прийняття рішень за відсутності формальної залежності результату від прийнятого рішення виникає трудність у експертному визначенні переваг одних рішень над іншими навіть при обраній системі показників.

В сучасних автоматизованих системах з фіксацією у журналах результатів процесів діяльності можна відтворити модель актуального на даний період процесу діяльності - Process mining. Як правило для кожної операції процесу діяльності (пункту сценарію) фіксуються терміни виконання, особа, важливі вхідні і вихідні параметри. Ці дані є основою для визначення алгоритмічної залежності цільових показників процесу діяльності від вибору значень параметрів моделі та поточної структури моделі діяльності.

Наявність зазначеного дає можливість поставити завдання визначення ефективної змішаної стратегії вибору параметрів та структури сценарію виконання процесу діяльності по критерію максимізації цільових показників діяльності.

### Вирішення задачі

подаємо модель досягнення цілей процесу діяльності у вигляді  $M$  :

$$M = \langle G, H, S, E, T \rangle, \quad (1)$$

де  $G$  – граф структури досягнення цілей процесу;  $H$  - множина ресурсів;  $S$  – формалізоване подання вимоги збалансованості що до показників результату процесу, задане на базових показниках, тут подається у вигляді об'єму фігури, утвореної кінцями векторів значень цільових показників з урахуванням їхньої значущості;  $T$  - директивний термін виконання процесу;

Граф структури досягнення цілей процесу  $G$  є скінчений орієнтований навантажений граф з детермінованими дугами, що відображає структуру досягнення цілей процесу :

$$G = \langle W, R, P^W, P^R \rangle, \quad (2)$$

де  $W$  – вершини графу, що позначають точки розгалуження сценаріїв процесу і відповідно можливого прийняття рішення;  $R$  – направлені дуги графу для позначення структури та наявних напрямків розвитку процесу.  $P^W$  – навантаження вершин графу;  $P^R$  – навантаження дуг графу;

Навантаженням вершин графу є відношення зі схемою  $P^W$

$$P^W (P_v, P_r, M_r, M_t, T_w, R_w), \quad (3)$$

де  $P_v$  – множина вхідних даних вершини графу процесу діяльності;  $P_r$  – множина показників процесу діяльності;  $M_r$  – ступінь новизни описаної вище ситуації в якій приймається рішення (від повністю детермінованої до суттєво невідзначеної)[0:1];  $M_t$  – форма подання впливу результату процесу в цілому від прийнятого в даній точці сценарію рішення. Вид форми подання впливу може бути визначеним як один з наступних:

- Аналітична залежність;
- Алгоритмічна залежність;
- Графічне подання залежності;
- Залежність типу «тренд»;
- Таблична залежність;
- Статистична залежність.

$T_w$  – максимально допустимий термін проходження точки сценарію (виконання усіх операцій);  $R_w$  – Ресурсні обмеження проходження точки сценарію. Ресурсні обмеження можуть бути визначені по певній множині видів ресурсів і завдані у вигляді чіткого значення, чи припустимого інтервалу (з функцією доцільного збільшення витрат на одиницю покращення показника часу та результуючих показників процесу)

Навантаженням дуг графу є відношення зі схемою  $P^R$

$$P^R = \langle S, I, I \rangle, \quad (4)$$

де  $S$  - тип зв'язку, що визначає технологічні зв'язки між точками сценарію.

$S = I \times I \times J$  - позначає можливі технологічні послідовності виконання операцій процесу з використанням обраної стратегії поведінки  $J$  – тобто загальну структуру процесу ( $\times$  - позначення операції декартового добутку)  $s_{i_1 i_2 j_k} | k = \{1, 2, 3, 4\}; i_1 \neq i_2; i_1, i_2 \in I; s_{i_1 i_2 j_k} \in S$ . Та не може бути задано більше ніж одне значення стратегії поведінки для однієї пари вершин.

Модель підтримує наступні типи стратегій поведінки у точках прийняття рішень :

- 1) Безумовний перехід відповідно до відомої моделі з заданими параметрами;
- 2) Перехід з встановленням значень параметрів відомої моделі;
- 3) Перехід з перевизначенням множини параметрів для відомої моделі;
- 4) Перехід з перевизначенням моделі – структури процесу.

Таким чином являє інтерес знаходження таких стратегій поведінки у точках прийняття рішення, що призведуть до отримання найкращої збалансованої множини значень цільових показників процесу.

$$\arg \max_{s_{j_1 j_2} \in S, j^1, j^2 = 1, \dots, |I|} S(C) \quad (5)$$

при умові дотримання термінів виконання

$$T' : p(T' - T) \leq \gamma, \quad (6)$$

де  $T'$  - випадкова величина часу виконання проекту. При кожному екземплярі проходження процесу модель  $M''$  має вигляд

$$M'' = \langle M', \overline{N'} \rangle, \quad (7)$$

де  $M'$  - поточні значення для  $M$ ;  $\overline{N'}$  - вектор значень новизни поточної ситуації у кожній з вершин графу сценарію. Він визначається як суб'єктивна оцінка для лінгвістичної змінної  $n$  для  $\overline{N'} = \{n_1, n_2, \dots, n_m\}$ , де  $m$  - кількість вершин графу сценарію проходження процесу діяльності.

Знаходження точного рішення задачі у такій постановці не може бути практично реалізоване, тому що відсутня аналітична залежність цільових показників процесу від поточного вигляду  $M'$ .

Скористаймося наступним евристичним алгоритмом для знаходження наближеного достатньо ефективного рішення.

1. Формуємо журнал подій у наявній системі автоматизованого супроводження процесу діяльності.

2. Переформатовуємо дані журналу для входу до процедури Process mining до формату MXML.

Process mining включає у себе такі кроки[1]:

1. Здобуття (Discovery) – автоматична побудова моделі на підставі записів журналу подій про те, що відбувалося фактично. Використання Discovery спро-



Міжвідомчий науково-технічний збірник «Адаптивні системи автоматичного управління» № 1' (32) 2018  
щує, здешевлює та пришвидшує дослідження та покращення показників процесів діяльності.

2. Перевірка відповідності (Conformance checking) – дає відповіді на питання, де та чому реальний процес відхиляється від очікуваного.

3. Удосконалення (Enhancement) – відповідає на питання, що слід змінити в моделі щоб покращити певні показники.

3. Використовуємо Process mining. Оберемо для дослідження найбільш відомий фреймворк, спеціально розроблений для Process Mining-у – ProM (також на ринку представлений ряд комерційних інструментів для глибинного аналізу процесів- Futura Reflect, Disco, ARIS Process Performance Manager, Interstage Business Process Manager, QPR ProcessAnalyzer).

4. Отримуємо модель процесів діяльності та значення контрольованих показників для цих процесів (Discovery), можливо у форматі мережі Petri.

5. На основі моделі процесів діяльності п.4 будуємо модель СМО у форматі Stella для дослідження процесу по отриманих даних.

6. Виконуємо дослідження на імітаційній моделі для різних змішаних стратегій поведінки в ситуаціях прийняття рішення. (Conformance checking).

7. Шукаємо ефективні змішані стратегії поведінки для поточного проходження сценарію діяльності і аргументуємо її ефективність (Enhancement). Скористаємося пошуком достатнього наближеного рішення задачі, як комбінації глобального та локального пошуку, що в багатьох задачах призводить до ефективних рішень [2]. Ефективне розв'язання складних комбінаторних задач або задач із недиференційованою цільовою функцією має базуватись на поєднанні методів локального та глобального пошуку. В цій ситуації скористаємося методом вектору спаду Сергієнка І.В. [2].

## Висновки

Виділення коштів на дослідження та покращення бізнес процесів в ситуації, коли ринок постійно змінюється і результати досліджень можуть стати не актуальними та не потрібними не завжди себе виправдовує. Тому даний підхід, що дозволяє отримати прийнятне рішення в заданому проміжку часу проходження екземпляру процесу діяльності і здійснює аналіз на актуальній моделі процесу є ефективним.

## Список використаних джерел

1. Van der Aalst, W. M. P. 2011. Process Mining: Discovery, Conformance and Enhancement of Business Processes, (1st Edition) Berlin; Heidelberg: Springer.
2. Сергієнко І. В., Лебедева Т. Т., Роцин В. А. Приближенные методы решения задач дискретной оптимизации. – Киев: Наук. Думка, 1980. –276 с.

## ОБРОБКА ІНФОРМАЦІЇ В СЕНСОРНИХ МЕРЕЖАХ

*Анотація.* В роботі наведено особливості структури, архітектури та застосування сенсорних мереж, відмінності бездротових та сенсорних мереж, проведено аналіз існуючих алгоритмів стиснення та показана їх неефективність, запропоновано використання методів стиснення для передачі.

*Ключові слова.* Бездротові сенсорні мережі, сенсори, алгоритми стиснення, методи стиснення при передачі, коефіцієнт стиснення.

### Вступ

У багатьох сферах людської життєдіяльності часто стоїть завдання збору даних, які надходять від великого числа джерел, їх обробки, і забезпечення реакції, відповідної зафіксованим подіям. Наприклад, якщо розглядати квартиру або офісне приміщення, то для створення найбільш комфортних умов необхідно контролювати вологість повітря, температуру, концентрацію кисню, освіщеність і, виходячи з цих даних, регулювати потужність витяжки та обігрівача, вмикати освітлення (або регулювати його інтенсивність), включати зволожувач повітря і т.д. Якщо розглядати сільське господарство, то для досягнення хороших результатів необхідно контролювати стан вологості ґрунту, концентрації речовин, що містяться в ґрунті і т.п., і вже, виходячи з цих даних, приймати рішення про необхідність поливу, або внесення добрив.

Щоб здійснювати подібну діяльність автоматизовано, необхідно забезпечити обмін інформацією між усіма цими пристроями, тобто створити єдину мережу датчиків (чутливих елементів, сенсорів) і виконавчих пристроїв (обігрівач, зволожувач повітря, вентилятор в системі кондиціонування, поливальна машина, дозатор добрив і т.д.). Вочевидь, що провідна мережа прийнятна тільки у вузькому колі завдань в силу очевидних причин: вона була б занадто масивна, дорога, вимагала б складного монтажу, налагодження та обслуговування, непридатності для мініатюрних або мобільних об'єктів.

В силу всіх вищенаведених причин і з'явилося напрямок, що набирає силу: бездротові сенсорні мережі. Бездротові сенсорні мережі можна визначити наступним чином - це масштабна, за кількістю вузлів і займаної площі, організована безліч окремих чутливих елементів і виконавчих пристроїв, об'єднаних за допомогою технології бездротового обміну інформацією, яка володіє можливостями самоорганізації, самовідновлення і здатна функціонувати автономно. Кожен ву-

Міжвідомчий науково-технічний збірник «Адаптивні системи автоматичного управління» № 1' (32) 2018  
зол в такій мережі повинен мати вкрай низьку вартість і володіти мінімально можливими розмірами.

### **1. Постановка задачі дослідження.**

Багато протоколів і алгоритмів були розроблені для традиційних бездротових мереж, тому вони не дуже добре підходять для унікальних особливостей і вимог сенсорних мереж. Основні відмінності сенсорних і бездротових мереж:

- кількість вузлів сенсорної мережі може бути на кілька порядків вище, ніж вузлів в бездротовій мережі;
- вузли щільно розташовані;
- вузли схильні до збоїв;
- топологія сенсорних мереж може часто змінюватися;
- вузли в основному використовують ширококомвні повідомлення, в той час як більшість бездротових мереж засновані на зв'язку "точка-точка";
- вузли обмежені в живленні, обчислювальних потужностях, і пам'яті;
- вузли не можуть мати глобальний ідентифікаційний номер через великої кількості накладних витрат і великої кількості датчиків.

Основні проблеми сучасних бездротових сенсорних мереж:

- стиснення даних і контроль трафіку, що передається;
- вибір стратегії при обчисленнях, в яких задіяно кілька вузлів (з одного боку потрібно обмін даними, з іншого - потрібно витрати батарей на пересилку).

В роботі пропонується використання методів стиснення даних при передачі замість широко відомих алгоритмів стиснення.

### **2. Особливості сенсорних мереж**

Основні області, де сенсорні системи вкрай необхідні сьогодні:

- системи спостереження і моніторингу, охорони периметрів;
- системи домашньої і промислової автоматизації;
- модернізація та автоматизація сфери ЖКГ;
- військове застосування;
- охорону здоров'я;
- агропромисловий комплекс;
- охорона навколишнього середовища.

Це і контроль популяцій видів тварин, моніторинг лісових пожеж, охорона територій різної протяжності (зокрема, державного кордону), комплексний контроль кліматичних умов при вирощуванні сільськогосподарських культур. Особливий інтерес представляють сфери домашньої і промислової автоматизації. Зо-

крема, це системи - інтелектуальної будівлі або цифрового будинку, системи регулювання та контролю за витрачанням енергоресурсів, автоматизований контроль активів під час перевезення вантажів різних типів і т.д.

Одним з перспективних напрямків у використанні технології бездротового зв'язку є «розумний» або «цифровий» будинок -автоматизоване система, що забезпечує узгоджену роботу всіх інженерних систем будинку, грамотно розподіляє ресурси, забезпечує зрозумілий інтерфейс контролю і управління. Використання бездротових рішень зменшує термін будівництва і введення в експлуатацію будівлі, а також зменшує витрати на підтримку вже існуючої інфраструктури, економлячи кошти на прокладання кабелів і можливої перепланування будівлі.

Бездротові сенсорні мережі можуть бути невід'ємною частиною військового управління, зв'язку, розвідки, спостереження і систем орієнтування. Швидке розгортання, самоорганізації і відмовостійкість - це характеристики сенсорних мереж, які роблять їх перспективним інструментом для вирішення поставлених завдань.

Одним із застосувань в медицині є пристрої для інвалідів; моніторинг пацієнтів; діагностика; моніторинг використання медикаментів у лікарнях; збір фізіологічних даних людини; і моніторингу лікарів і пацієнтів в лікарнях.

Сьогодні існує багато ситуацій, де застосування бездротових технологій виправдано і навіть переважно: важкодоступні для прокладки проводів місця в будівлі, або ситуації, коли прокладка проводів тягне за собою підвищені витрати, зв'язок між собою декількох будівель, необхідність в мобільності. В кінцевому підсумку розглядається економічна виправданість застосування того чи іншого рішення, при задоволенні їм за всіма технічними параметрами.

Рішення бездротової автоматизації будівлі можуть використовуватися для кліматичного контролю, управління освітленням, а також пожежної та охоронної сигналізації, широкомасштабного моніторингу землі і дослідження планет, виявлення лісових пожеж, метеорологічних або геофізичних досліджень, виявлення повеней і дослідження забруднення.

До вузлів, що входять до складу сенсорних мереж пред'являються досить жорсткі і специфічні вимоги. Перш за все, це тривале функціонування від автономного джерела живлення, наявність бездротового інтерфейсу широкі мережеві можливості, включаючи самоорганізацію, динамічну аутентифікацію, гнучкі механізми маршрутизації, і т.п. Не варто забувати, що мережа, крім усього іншого, може бути вельми і вельми масштабною, нараховуючи сотні тисяч вузлів, маючи при цьому складну топологічну структуру. І при всьому цьому кожен подібний вузол повинен мати вкрай низьку вартість і володіти мінімально можливими розмірами.

**Структура сенсорних мереж.** Сенсорна мережа складається з програмного і апаратного компонента. Апаратний компонент являє собою безліч оснащених приймачами мікропроцесорних пристроїв, за допомогою яких можлива передача інформації між цими пристроями в мережі. Програмний компонент агрегує каналний, мережевий рівень і рівень додатків, що дозволяють підтримувати передачу даних від всіх вузлів мережі до деяких вузлів (базових станцій) [3].

**Архітектура сенсорних мереж.** Вузли, як правило, розташовані випадковим чином по всій території спостереження. Кожен з них може здійснювати збір даних і знає маршрут передачі даних назад в центральний вузол, кінцевому користувачеві. Дані передаються за допомогою гнучкої архітектури мережі. Центральний вузол може спілкуватися з менеджером завдань через Інтернет або супутник. Стек протоколів включають в себе інформацію про потужності і інформації про маршрути, містить дані про мережевих протоколах, допомагає ефективно спілкуватися посередством бездротової середовища, і сприяє спільній роботі вузлів[1].

**Застосування бездротових сенсорних мереж.** Сенсорні мережі можуть складатися з різних типів датчиків: сейсмічних, датчиків визначення магнітного поля, теплових, інфрачервоних, акустичних, і т.д. Використовуючи сенсорні мережі можна здійснювати найрізноманітніші вимірювання умов навколишнього середовища. Сенсори можуть використовуватися для безперервного зондування, виявлення та ідентифікації подій. Концепція мікрозондування і бездротове з'єднання відкривають багато нових областей застосування для таких мереж.

### 3. Алгоритми стиснення інформації в мережах

Існує досить багато різних алгоритмів стиснення інформації без втрат інформації. [5] Найбільш поширеними і широко відомими є:

- Алгоритм Хаффмана;
- Алгоритм арифметичного стиснення;
- Алгоритм Лемпеля-Зива.

#### **Алгоритм стиснення Хаффмена**

В основі оригінального алгоритму Хаффмана лежить наступна ідея. Символам повідомлень ставиться у відповідність код змінної довжини, що складається з цілої кількості біт. Довжина коду визначається частотою появи символу в даних що підлягають стисненню, чим рідше зустрічається символ, тим довше його код. Більш того, процедура побудови кодів гарантує однозначність їх наступного декодування завдяки властивості унікальності префікса.

Для того, щоб побудувати код символу необхідно знати таблицю частот появи символів в вхідних даних, або імовірності появи символів, із алфавіту

що має джерело повідомлень. На основі цієї таблиці будується дерево Хаффмана (H - дерево) за наступним алгоритмом:

- із символів, які зустрічаються в вхідних даних, створюють список вільних джерел. Кожен вузол характеризується вагою, під якою розуміють імовірність появи символу, чи кількість його появ в даних;

- вибираємо два вільних вузли, вага котрих мінімальна і створюємо для них батьківський вузол. При цьому вага батьківського вузла буде дорівнювати доданку ваги його дітей;

- додаємо батьківський вузол в список вільних вузлів, а його дітей, звідти, викреслюємо. Дугам, які з'єднують батьків з дітьми, ставимо у відповідність 0 і 1.

- два попередніх кроки повторюємо до тих пір, поки в списку вільних вузлів не залишиться тільки один вузол, котрий називають коренем дерева.

Тепер, знаючи дерево Хаффмана, ми можемо легко визначити код будь-якого символу. Для цього необхідно пройти шлях від кореня дерева до вузла відповідного цьому символу. Отримана послідовність нулів та одиниць і буде, представляти собою код Хаффмана.

Оригінальний алгоритм досить простий, але він має два значні недоліки. По-перше, для коректної роботи розпаковник повинен знати таблицю кодів, створену запаковником. Отже, її необхідно зберігати в архівному матеріалі, або передати декодеру іншими каналами, тим самим збільшуючи об'єм інформації, що передається. По-друге, так як нам необхідна статистика символів що містяться в початкових даних, то потрібно два проходи по ним - один для збору статистика, а другий вже для стиснення.

#### **Алгоритм стиснення за допомогою арифметичного кодування**

Арифметичне кодування є методом, який дозволяє стиснути послідовність вхідного алфавіту без втрат при умові, що відомий розподіл частот цих символів. Концепція методу була розроблена ще в роботах Еліаса в 60-х роках. В подальшому цей метод був істотно розвинутий і значно вдосконалений.

Арифметичне кодування є оптимальним, досягаючи теоретичної межі стиснення - ентропії вхідного потоку [4].

Текст, стиснутий арифметичним кодером, розглядається як деяка двійкова дріб із інтервалу  $[0, 1)$ . Результат стиснення можливо представити як послідовність двійкових цифр із цього дробу.

Ідея методу полягає в наступному: початковий текст розглядається як запис цього дробу, де кожний вхідний символ є цифрою з вагою, пропорційною імовірності його появи [6].

Нехай, алфавіт має два символи:  $a$  і  $b$  з імовірностями відповідно  $3/4$  і  $1/4$ . Алгоритм стиснення Хаффмана не може зменшити об'єм слова в даному алфавіті.

Розглянемо інтервал  $[0, 1)$ . Розіб'єм його на частини, довжина котрих пропорційна імовірності елементів. В нашому випадку це  $[0, 3/4)$  і  $[3/4, 1)$ . Суть алгоритму полягає в наступному: кожному символу в вхідному алгоритмі відповідає деякий підінтервал із  $[0, 1)$ . Пустому слову відповідає весь інтервал  $[0, 1)$ . Після отримання кожного наступного символу арифметичний кодер зменшує інтервал, вибираючи ту його частину, котра відповідає знову надійшовшому символу. Кодом ланцюжку є інтервал, виділений після всіх символів з ланцюжку, точніше кажучи, двійковий запис координати довільної точки із цього інтервалу.

Таким чином, довжина отриманого інтервалу пропорційна імовірності появи кодуемого ланцюжку.

Виконаємо наведений алгоритм для ланцюжку aaba, який представлено в таблиці 1

В якості коду можливо взяти довільне число із інтервалу, отриманого на кроці 4, наприклад 0.1.

Таблиця 1.

**Особливості роботи алгоритму арифметичного стиснення.**

Крок	Ланцюжок що підлягає розгляду	Інтервал
0	""	$[0, 1)=[0, 1)$
1	a	$[0, 3/4)=(0, 0.11)$
2	aa	$[0, 9/16)=(0, 0.1001)$
3	aab	$[27/64, 36/64)=(0.011011, 0.100100)$
4	aaba	$[108/256, 135/256)=(0.01101100, 0.10000111)$

Арифметичний декодер працює синхронно з кодером: почав з інтервалу  $[0, 1)$ , він послідовно визначає символи вхідного ланцюжку. В особливості, в нашому випадку він спочатку розділить (пропорційно частотам символів) інтервал  $[0, 1)$  на  $[0, 0.11)$  і  $[0.11, 1)$ . Так як, число 0.1 (переданий кодером код ланцюжку aaba) знаходиться в першому з них, можливо отримати перший символ a. Потім ділимо перший підінтервал  $[0, 0.11)$  на  $[0, 0.1001)$  і  $[0.1001, 0.1100)$  пропорційно частотам символів). Знову вибираємо перший, так як  $0 < 0.1 < 0.1001$ . Продовжуючи цей процес, ми однозначно декодуємо всі чотири символи. Для того, щоб декодер міг визначити кінець ланцюжка, ми можемо передавати її довжину окремо, або додати до алфавіту додатковий символ "кінець ланцюжка".

При реалізації цього методу виникають дві проблеми: по-перше, необхідна арифметика з нескінченною точністю, і по-друге, результат кодування стає відомим лише при закінченні вхідного потоку.

Крім того, арифметический кодер як і алгоритм Хаффмана, також є двух-рохідним та потребує передачі разом з закодованим текстом ще й таблиці частот символів.

### **Алгоритм стиснення LZ**

Всі розглянуті вище методи і моделі кодування розглядали в якості вхідних даних ланцюжки символів (тексту) в деякому кінцевому алфавіті. При цьому залишається відкритим питання про зв'язок цього вхідного алфавіту кодера з даними, що підлягають стисненню (представленими також у вигляді ланцюжків в (іншому) алфавіті, звичайно маючим 256 символів - біт).

В найпростішому випадку можливо використовувати в якості вхідного алфавіту кодеру саме ці символи (байти) вхідного потоку. Ступінь стиснення при цьому відносно невелика - порядку 50% для текстової інформації.

Значно більшого ступеня стиснення можливо досягти при виділенні із вхідного потоку ланцюжків що повторюються і кодування звернень на ці ланцюжки.

Алгоритм, про який буде йти мова, належить Лемпелю і Зіву, звичайно, його називають LZ77 compression (по року публікації методу стиснення).

В його основі лежить наступна концепція: запаковник постійно зберігає деяку кількість останніх оброблених символів в деякому буфері (який також має назву словника що ковзає - slidingdictionary). Назва - словник що ковзає, обумовлена тим, що довжина його постійна; кожний раз, коли компресор кодує наступний ланцюжок, він дописує його в кінець словника і "обрізає" відповідну кількість символів на початку буфера. По мірі обробки вхідного потоку знову надійшовші символи потрапляють в кінець буфера, здвигаючи попередні символи і витискаючи самі старі. Розміри цього буфера можуть бути різні, вони змінюються в різних реалізаціях. Є методи які використовують буфер розміром 4 кбайт, а є моделі маючі значно більший буфер, наприклад 32 кбайт.

Алгоритм виділяє (шляхом пошуку у словнику) самий довгий початковий підрядок вхідного потоку, співпадаючий з одним з підрядків в словнику, і видає на вихід пару (length, distance), де length - довжина знайденого в словнику підрядку, distance - відстань від нього до вхідного підрядку (тобто, фактично індекс підрядку в буфері, віднятий з його розміру). В випадку, якщо такий підрядок не знайдено, в вхідний потік просто копіюється черговий символ вхідного потоку [8].

В першій версії алгоритму пропонувалося використовувати найпростіший пошук по всьому словнику. Час стиснення, при такій реалізації, був пропорційний добутку довжини вхідного потоку на розмір буфера, що не придатно для практичного використання. Однак, в подальшому було запропоновано використовувати двійкове дерево для швидкого пошуку в словнику, що дозволили на порядок збільшити швидкість роботи.



Таким чином, алгоритм Лемпеля - Зіва перетворює один потік початкових символів в два паралельних потоки length і distance. Очевидно, що ці потоки є потоками символів в нових алфавітах  $L$  і  $D$ , і до них можливо застосувати один з розглянутих вище методів (кодування Хаффмена, арифметичне кодування). Таким чином, ми підходимо до схеми двохступінчатого кодування, найбільш ефективного з практичного використовуємих в теперішній час. При реалізації цього методу необхідно досягнути узгодженого виводу обох потоків в один. Ця проблема звичайно розв'язується шляхом почергового запису кодів символів із обох потоків.

Передача інформації в сенсорній мережі показує ряд специфічних обмежень, що накладаються на передану інформацію:

1. Одностороння спрямованість передачі даних в сенсорній мережі.
2. Відсутність статистичних та імовірнісних характеристик прийнятої і переданої інформації між сенсорами сенсорної мережі.
3. Розподілений характер переданих даних. Кожен з сенсорів є окремим і незалежним від інших сенсорів джерелом інформації. Доступ до всієї інформації в сенсорній мережі можна отримати тільки на базовій станції.
4. Аналіз, обробка і перетворення інформації, отриманої від усіх датчиків, виконується тільки на базовій станції або ж безпосередньо на крайовому пристрої за участю людини.
5. Відсутність обміну статистичними характеристиками інформації між сенсорами сенсорної мережі [2].

Наявність зазначених обмежень в значній мірі знижує ефективність роботи найбільш поширених методів стиснення інформації в сенсорній мережі. З урахуванням обмеження на відсутність втрат при обробці і передачі даних, а так само через відсутність певного типу одержуваної інформації (наприклад текст, графіка, відео і т.д.), в огляді були розглянуті універсальні і найбільш часто використовувані методи стиснення без втрат. До таких методів належать: стиснення Хаффмана, LZ стиснення і арифметичне стиснення. Крім специфічних особливостей реалізації зазначених методів, існує ще дві основні підходи при моделюванні джерела повідомлень: статичний і динамічний.

Статична модель має на увазі наявність заздалегідь відомих статистичних характеристик джерела інформації або ж можливість попереднього перегляду всієї інформації з метою отримання даних характеристик.

Динамічна модель має на увазі поступове накопичення статистичної інформації паралельно з її стисненням. При цьому метод стиснення перебудовується відповідно до знову отриманою інформацією. Розглянемо обмеження і недоліки використання в сенсорних мережах зазначених методів стиснення з урахуванням динамічного і статичного підходів при їх реалізації:

1. Реалізація статичного алгоритму Хаффмана, статичного LZ стиснення і статичного арифметичного стискання неможлива через відсутність необхідних значень ймовірності появи повідомлень для побудови кодових дерев, створення словників і кодових таблиць при реалізації зазначених методів стиснення. Крім того, наявність великої кількості марнотратів в сенсорній мережі призводить до виникнення великої кількості джерел інформації. Оскільки джерела не пов'язані між собою, то необхідно створювати кодові структури для кожного марнотратника окремо, що призводить до значного зростання апаратно-програмних витрат і складності реалізації методів стиснення.

2. Використання динамічного алгоритму Хаффмана, LZ стиснення і арифметичного стискання в сенсорних мережах є малоефективним. Динамічний підхід до стиснення інформації розрахований на досить великі обсяги інформації, що передається. Чим більше розмір переданого повідомлення - тим точніше буде побудована модель джерела і краще виконається стиснення. У сенсорних мережах джерелом інформації є датчики, підключені до сенсора. Кількість цих датчиків не велика, отже, і кількість переданої інформації є недостатнім для ефективного використання адаптивних методів стиснення. Складнощі виникають і при використанні інформації для стиснення від попередніх сенсорів. В цьому випадку, для додавання до отриманої інформації в стислому вигляді нових даних необхідно виконати відновлення прийнятої інформації з метою отримання статистичної характеристики джерела. Процес відновлення інформації в кожному з послідовності сенсорів при передачі повідомлення призводить до значного уповільнення процесу передачі інформації в сенсорній мережі.[2]

#### **4. Методи стиснення даних при передачі.**

Існуючі на цей момент методи стиснення даних в більшості випадків мають достатньо складні алгоритми, реалізація яких потребує значних обчислювальних ресурсів і суттєвих апаратних затрат при схемотехнічній реалізації. Крім того, специфічні особливості побудови і функціонування сенсорних мереж в значному ступені знижує ефективність використання найбільш розповсюджених методів стиснення.

Для стиснення інформації в сенсорних мережах з вищенаведеними характеристиками пропонується використовувати методи стиснення для передачі: лінійні, матричні, каскадні та комбіновані.

#### **Стиснення даних із використанням замість повторень додаткових символів.**

Ці способи ґрунтуються на заміні повторюваних елементів деякими умовними символами. Вони є ефективними в тому разі, коли масиви інформації, які

подаються у вигляді рядків або стовпців, розташованих у зростаючому порядку, мають однакові значення елементів в одних і тих самих розрядах, що характерно для інформації, що передається від сенсорів. Таке стиснення даних дає змогу скоротити масив у кілька разів.

Так, якщо елементи повторюються на початку рядків (стовпців) відносно попередніх, то замість виключених розрядів у масив уводиться знак поділу, який дає можливість відокремити елементи в згорнутому масиві. При розгортанні замість знака поділу поновлюють всі пропущені розряди, які були до елемента, що знаходився безпосередньо за знаком поділу в стисненому тексті. Запис знаків, які знаходяться після знаку поділу, виконується з кінця рядка (стовпця) [5].

Після заповнення пропущених цифр за аналогічними розрядами попереднього рядка дістаємо масив інформації, який був до стиснення.

Недоліком цього методу стиснення інформації є неможливість його застосування до впорядкованих масивів, у яких повторювані розряди зустрічаються не на початку рядків (стовпців).

Для згортання масивів, у яких в одному рядку (стовпці) є тільки одна повторювана ділянка, можна використати вище згаданий спосіб з введенням додаткового символу (кінець рядка, стовпця). При цьому розгортання масиву ведеться від одного додаткового символу до іншого. В разі фіксованої довжини рядка (стовпця) всі розряди, які знаходяться між додатковими символами, разом із пропущеними розрядами мають утворювати повний рядок (стовпець).

Поновлення масиву може виконуватися з початку або з кінця. За наявності в рядку (стовпці) кількох повторюваних ділянок вводять спеціальні символи, що вказують необхідну кількість пропусків [5].

Розгортання масивів при цьому методі стиснення виконується з їх початку або з кінця, а заповнення відповідної кількості пропусків замість додаткових символів А, В, С - перенесенням відповідної кількості символів, які знаходяться на однойменних розрядах попереднього рядка.

### **Стиснення інформації з типовими матрицями**

При цьому способі в пам'яті ПК центральної станції зберігаються матриці деяких найпоширеніших наборів символів, які зустрічаються в інформаційному масиві, що стискається. Для цього заздалегідь аналізують інформаційний масив, утворюють типові матриці і при стисненні замість наборів символів, які відповідають цій типовій матриці, в послідовність символів інформаційного масиву вводять адреси цих матриць [5].

За цим алгоритмом сканується масив вибірки вхідного потоку і після того, як знаходиться будь-яка матриця, у вихідний потік записуються: символ матриці, один з рядків в матриці, кількість рядків матриці. Нестиснуті символи вхідного по-

току записуються у вихідний інформаційний потік без будь-яких змін. Розгортання повідомлення у приймальному пристрої виконується за аналогією з описаними вище алгоритмами двох матричних способів стиснення. Як перевагу цього алгоритму можна зазначити високу швидкість розгортання і досить високий коефіцієнт стиснення, з огляду на адаптацію до кожного конкретного масиву вибірки [7].

Дамо оцінку матричних способів стиснення.

Основною умовною стиснення без втрат інформації, як відомо, є рівність кількості інформації у вхідному (первинному) і стисненому вихідному (вторинному) інформаційних потоках, тобто  $I_{BX} = I_{BUX}$ . Якщо інформаційний потік складається з множини  $N_1$  елементів,  $N_1 = \{x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_{N_1}\}$ , алфавіту  $q_1$ , і з урахуванням того, що кожний елемент (символ) вхідного інформаційного потоку несе  $I(x_i) = \log_2 q_1$  біт інформації, тоді кількість інформації, яка міститься у вхідному інформаційному потоці, біт

$$I_{BX} = \sum_{i=1}^{N_1} I(x_i), \quad (1)$$

За аналогією з (1), кількість інформації, що міститься у вихідному інформаційному потоці, який складається з множини  $N_2$  елементів,  $N_2 = \{y_1, y_2, \dots, y_{N_1}\}$  алфавіту  $q_2$ ,

$$I_{BUX} = \sum_{j=1}^{N_2} I(y_j), \quad (2)$$

Для визначення коефіцієнта стиснення необхідно одержати значення швидкостей передачі інформації у вхідному і вихідному потоках. При цьому швидкість передачі інформації у вхідному потоці, біт/с,

$$R_{BX} = \frac{I_{BX}}{T_{BX}}, \quad (3)$$

де  $T_{BX}$  - час передачі інформаційного масиву вхідного потоку, який з урахуванням однотипності інформаційних елементів, визначиться як

$$T_{BX} = N_1 t_1, \quad (4)$$

де  $t_1$  - тривалість передачі одного елемента вхідного інформаційного потоку.

За аналогією з (3) і урахуванням (4) для вихідного потоку, маємо, біт/с

$$R_{BUX} = \frac{I_{BUX}}{T_{BUX}}, \quad (5)$$

де  $T_{BUX}$  - час передачі інформаційного масиву вихідного потоку [3].

Виконаємо більш детальний аналіз вихідного інформаційного потоку після його стиснення матричним способом.

Позначимо через  $I_M(y_j)$  кількість інформації, що міститься у  $j$ -й матриці і

$I(y_{j_0})$  - кількість інформації, що міститься в одиничних елементах, які не стискаються. Тоді вираз (2) буде мати вигляд, біт,

$$I_{BUX} = \sum_{j_0=1}^{N_2^{j_0}} I(y_{j_0}) + \sum_{j=1}^{N_2^j} I_M(y_j), \quad (6)$$

де  $N_2^{j_0}, N_2^j$  - число одиничних елементів (символів) та матриць різної розмірності у вихідному інформаційному потоці, відповідно.

У свою чергу, матриці можуть мати різні розміри, однак їх набір обмежений, що викликано обмеженнями, які накладаються алфавітом, що використовується для передачі інформації, та обсягом інформаційного потоку, що стискається. Таким чином, друга складова виразу (6) може бути записана як

$$\sum_{j=1}^{N_2^j} I_M(y_j) = \sum_{j_1=1}^{n_1} I_M(y_{j_1}) + \sum_{j_2=1}^{n_2} I_M(y_{j_2}) + \dots + \sum_{j_k=1}^{n_k} I_M(y_{j_k}), \quad (7)$$

де  $n_1, n_2, \dots, n_k$  - число матриць різної розмірності;  $K = \{1, 2, \dots, q\}$ , тут  $q = q_2 - q_1$ ,  $q_2$  - алфавіт, що використовується для кодування вихідного потоку,  $q_1$  - частина алфавіту, яка використовується у вихідному потоці для кодування одиничних символів (алфавіт вхідного потоку).

Отже, не дивлячись на рівність кількості інформації, яка міститься у вхідному і вихідному потоках, число елементів  $N_1$  і  $N_2$ , якими передаються ці потоки, буде різним. При цьому, як правило  $N_1 > N_2$ . Звичайно, що при матричному стисненні розмір матриць, їх правильний вибір відіграють значну роль, і чим більший буде розмір матриці, тим більшу кількість інформації вона містить [3].

З урахуванням (6) і (7) число елементів вихідного потоку

$$N_2 = N_2^{j_0} + N_2^j = N_2^{j_0} + (n_1 + n_2 + \dots + n_k), \quad (8)$$

а час передачі інформаційного масиву вихідного потоку, с

$$T_{BUX} = [N_2^{j_0} + n_1 + n_2 + \dots + n_k] t_j, \quad (9)$$

де  $t_j$  - тривалість передачі одного елемента (символу) вихідного інформаційного потоку. Якщо у (5) підставити значення  $I_{BUX}$  і  $T_{BUX}$  (6), (7) і (8), одержимо швидкість передачі інформації  $R_{BUX}$ , і, знаючи, що коефіцієнт стиснення визначається

як  $K_{CT_M} = \frac{R_{BUX}}{R_{BX}}$ , а також виходячи з рівності кількості інформації у вхідному і

вихідному інформаційних потоках, маємо

$$K_{CT_M} = \frac{I_{BUX} T_{BX}}{T_{BUX} I_{BX}} = \frac{N_1 t_i}{(N_2^{j_0} + n_1 + n_2 + \dots + n_k) t_j}, \quad (10)$$

### Каскадні методи

Застосовуються для збільшення коефіцієнта стиснення. При цьому, як правило, використовуються комбінації лінійних і матричних методів. Можна утворити такі каскадні способи стиснення, як кодо-зонний, кодо- та зонно-матричні тощо.

При використанні послідовного кодового і матричного способів стиснення отримують каскадний кодо-матричний метод.

В даному випадку вхідний інформаційний потік підлягає кодовому стисненню, а потім - матричному. При цьому коефіцієнт стиснення буде дорівнювати добутку:

$$K_{cm_{км}} = K_{cm_k} * K_{cm_m} = \frac{N_1 * \log_2 q_2}{(N_2^{j_0} + n_1 + n_2 + \dots + n_k) * \log_2 q_1}$$

де  $N_1$  - загальна кількість елементів (символів) вхідного інформаційного потоку;  $N_2$  - число одиночних елементів (символів) в вхідному інформаційному потоці;  $n_1, n_2, \dots, n_k$  - число матриць різної розмірності;  $k = \{1, 2, \dots, q\}$ , тут  $q = q_2 - q_1$ ;  $q_2$  - алфавіт, що використовується для кодування вихідного (вторинного) інформаційного потоку;  $q_1$  - частина алфавіту  $q_2$ , що використовується у вторинному потоці для кодування одиночних символів (а також, алфавіт вхідного інформаційного потоку) [4].

### Каскадно-комбіновані методи стиснення

Кодо-поздовжньо-матричне і кодо-поперечно-матричне стиснення відносяться до каскадно-комбінованих способів стиснення, так як такі способи передбачають на першому етапі кодове стиснення, а на другому комбіноване - поздовжньо-матричне (або поперечно-матричне) стиснення. Коефіцієнт стиснення визначається добутком коефіцієнтів стиснення і поздовжнього-матричного (поперечно-матричного), тобто:

$$K_{cm_{кпм}} = K_{cm_k} K_{cm_{пм}}, \quad (11)$$

Або з урахуванням (11) отримаємо вираз:

$$K_{cm_{кпм}} = \frac{N_1 \log q_2}{(N_2^{j_0} + n_n + n_1 + n_2 + \dots + n_k) * \log_2 q_1}, \quad (12)$$

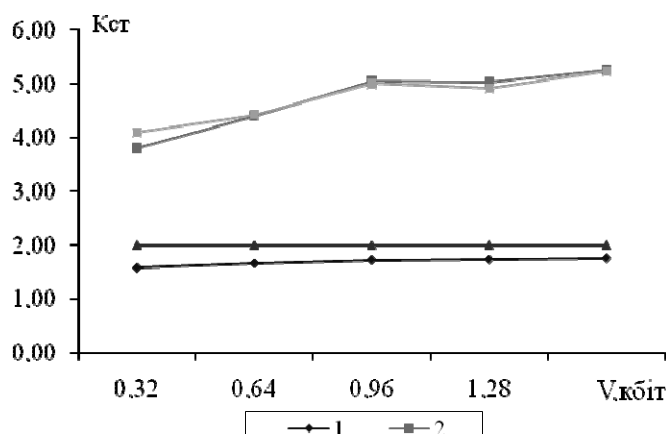
де  $N_1$  - загальна кількість елементів (символів) вхідного інформаційного потоку;  $N_2^{j_0}$  - число одиночних елементів (символів) в вхідному інформаційному потоці;  $k = \{1, 2, \dots, q\}$ , тут  $q = q_2 - q_1$ ;  $q_2$  - алфавіт, що використовується для кодування вихідного (вторинного) інформаційного потоку;  $q_1$  - частина алфавіту  $q_2$ , що використовується в вихідному інформаційному потоці для кодування одиночних символів;  $n_n$  - число матриць розмірності  $1 \times m_2$  (при кодо-поздовжньому-матричному стисненні), або розмірності  $m_1 \times 1$  (при кодо- поперечно-матричному стисненні) [3].

Для того, щоб вибрати найкращий спосіб стиснення скористаємося відомими залежностями коефіцієнта стиснення  $K_{ст}$  від довжини інформаційного масиву при різних алфавітах  $q$ . Представимо ці залежності у вигляді таблиць та графіків при  $q = 4$  та  $q = 8$  [3].

Таблиця 2.

**Залежність коефіцієнта стиснення  $K_{ст}$  від довжини інформаційного масиву при  $q = 4$ .**

Метод стиснення	$K_{ст}$ при інформаційному масиві, кбіт				
	0.32	0.64	0.96	1.28	1.6
1. Лінійний з $\rho$	1.58	1.66	1.72	1.73	1.75
2. Лінійний з $a, b, \dots, c$	3.81	4.41	5.05	5.04	5.26
3. Кодовий	2	2	2	2	2
4. Матричний	4.10	4.42	5.0	4.92	5.23



**Рис. 1.** Графік залежності  $K_{ст}$  від довжини інформаційного масиву при алфавіті  $q = 4$ .

Таблиця 2.

**Залежність коефіцієнта стиснення  $K_{ст}$  від довжини інформаційного масиву при  $q=8$ .**

Метод стиснення	$K_{ст}$ при інформаційному масиві, кбіт				
	0.32	0.64	0.96	1.28	1.6
1. Лінійний з $\rho$	1.58	1.66	1.72	1.73	1.75
2. Лінійний з $a, b, \dots, c$	3.90	6.10	7.56	8.53	9.30
3. Кодовий	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00

Закінчення табл. 2

Метод стиснення	$K_{ст}$ при інформаційному масиві, кбіт				
	0.32	0.64	0.96	1.28	1.6
4. Матричний	4.10	6.21	8.07	9.62	10.53
5. Кодо-матричний	7.60	11.85	12.63	14.06	14.68
6. Лінійно-матричний	4.10	6.40	8.65	9.77	10.50
7. Кодо-лінійно-матричний	7.70	12.30	14.12	16.62	16.80

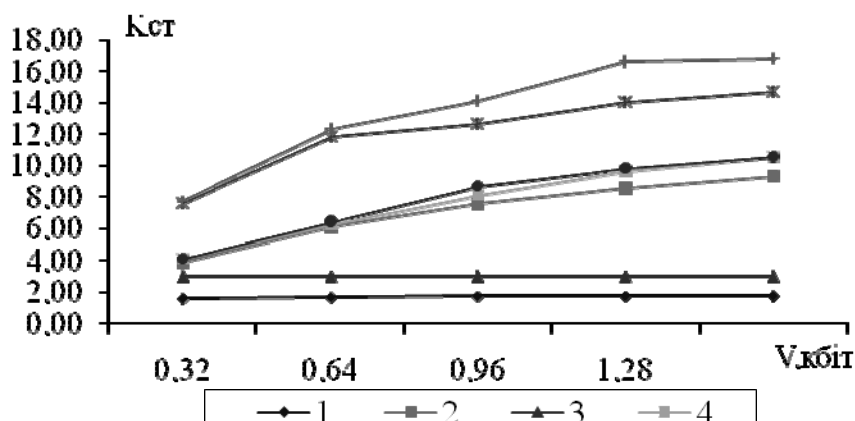


Рис. 2. Графік залежності  $K_{ст}$  від довжини інформаційного масиву при алфавіті  $q=8$ .

З таблиць та графіків можна зробити висновок, що для алфавіту  $q=4$  найкращими способами стиснення є лінійний з  $a, b, \dots, c$  та матричний, а для алфавіту  $q=8$  - кодо-матричний та кодо-лінійно-матричний способи, тобто каскадні та комбіновані способи стиснення.

### Висновки

Розглянуті методи стиснення при передачі мають деякі переваги на відміну від існуючих методів при використанні їх в сенсорних мережах:

1. Запропоновані методи стиснення можуть ефективно працювати з невеликими по обсягу даними, на відміну від існуючих методів.
2. Запропоновані методи стиснення перетворюють двійкові послідовності в числа, що дозволяє проводити обробку вихідних даних в стиснутому вигляді.
3. Крім того, випадкова помилкова зміна символу не є критичним для прийому всього потоку даних. Можливо використання завдостійкого кодування разом з запропонованими методами стиснення для запобігання виникнення помилок при передачі.



### Список використаних джерел

1. Akyildiz I.F., Su W., Sankarasubramaniam Y., Cayirci E. Wireless sensor networks: a survey // Computer Networks, Volume 38, 2002. – pp. 393–422.
2. Костель С. В. Рева В. В. Биномиальное сжатие информации в сенсорных сетях // Науково-технічна конференція "Фізика, електроніка, електротехніка (ФЕЕ-2012)" – Суми: СумДУ, 2012. - С.154
3. Жураковський Б. Ю. Матричні та комбіновані способи стиснення даних при передачі / Жураковський Б. Ю. // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку № 2(26), 2013. – С.28-32.
4. Жураковський Б. Ю., Жураковський Я. Ю. Каскадне стиснення інформації під час обробки в автоматизованих системах управління // Зв'язок №2, 2001 р. – стр.44-46.
5. Жураковський Ю. П. Полторак В. П. Теорія інформації та кодування./ Жураковський Ю. П. Полторак В. П – К.: «Вища школа», 2001. – 256 с.
6. Кохманюк Д. Сжатие данных: как это делается. / Кохманюк Д – IndexPro, 1992, №1, с.18-29; 1993, №2, с.30-49.
7. Жураковський Б.Ю. Матричне стиснення при передаванні даних / Герасимчук Д.В., Жураковський Ю.П., Жураковський Б.Ю. // Зв'язок №5(25), 2000. – С.58-59
8. Кричевский Р. Е. Сжатие и поиск информации./ Кричевский Р. Е. — М.: Радио и связь, 1989. —168с.

## **СИНТЕЗ УНИФИЦИРОВАННЫХ МУЛЬТИПЛИКАТИВНЫХ РЕГУЛЯТОРОВ ДЛЯ ПРЕЦИЗИОННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ**

*Анотация.* В статье системно изложены основные принципы структурного синтеза унифицированных мультипликативных регуляторов для прецизионных электронно-гидравлических следящих систем, используемых в современных автоматизированных системах управления технологическими процессами. Сформулированы и представлены в типовой универсальной форме, удобной для динамического анализа и синтеза алгоритмов управления, линеаризованные математические модели выделенных автономных контуров управления; показано, что динамические процессы в этих контурах могут быть достаточно точно описаны математическими моделями не выше третьего порядка. Синтезированы унифицированные эффективные алгоритмы управления, обеспечивающие для каждого контура управления высокие показатели качества (точности и быстродействия). Синтезированы наблюдатели состояния (эталонные модели) контуров, дающие информацию о всех необходимых для управления параметрах состояния. Результаты работы использовались при создании быстродействующих прецизионных систем управления на энергетических и машиностроительных предприятиях.

*Ключевые слова:* системы автоматического управления, прецизионные регуляторы, математические модели, мультипликативное управление, структурно-параметрический синтез.

### **Введение**

В работах [1-5] показано, что в прецизионных системах управления технологическими процессами наиболее эффективными и перспективными являются электронно-гидравлические следящие системы (ЭГСС).

Для обеспечения эффективного управления ЭГСС необходимо синтезировать управляющие алгоритмы, которые в максимальной степени могли бы компенсировать все виды статических и динамических ошибок регулирования: ошибок, обусловленных статизмом, систематическими погрешностями измерительных систем, нелинейными статическими характеристиками (нечувствительность, сухое трение, люфты, гистерезис и др.), недостаточным быстродействием исполнительных механизмов.

Поскольку компенсация всех видов ошибок регулирования и одновременное обеспечение максимальной точности и максимального быстродействия при помощи какого-либо одного типа алгоритма управления практически неосу-

ствимо, необхідно разработать минимизированный ряд эффективных алгоритмов управления, из которого, в зависимости от конкретных заданных технических требований к системе, можно было бы выбирать тот или иной алгоритм.

Существующие алгоритмы оптимального управления, например [6-8] должны быть доработаны и адаптированы к конкретным особенностям электрогидравлических исполнительных механизмов. Эта адаптация должна проводиться по следующим направлениям.

Во-первых, при синтезе алгоритмов управления должны использоваться точные математические модели электрогидравлических исполнительных механизмов, поскольку именно вид используемых математических моделей определяет конкретную структуру управляющего алгоритма и численные значения его оптимальных параметров.

Во-вторых, с целью упрощения структуры (а, следовательно, повышения надежности, эксплуатационных характеристик и снижения стоимости системы управления) при синтезе алгоритмов управления следует использовать максимально упрощенные, но, при этом, и достаточно адекватные математические модели.

В-третьих, при необходимости использования математических моделей высоких порядков (выше третьего), следует использовать принцип мультипликативного управления, разбивая объект регулирования и систему управления на отдельные автономные контуры, каждый из которых описывается системой уравнений более низкого порядка (желательно – не выше третьего) и имеет доступный для измерения выходной параметр.

В-четвертых, необходим учет в используемых математических моделях процессов преобразования измеряемых физических переменных в электрические (или кодовые), которые осуществляются в измерительных системах. Без учета этих процессов (формально этот учет осуществляется путем введения в модель системы дополнительных матриц преобразования) невозможно точно рассчитать оптимальные параметры алгоритмов управления.

Следует также использовать процедуры согласования коэффициентов главной обратной связи и задающего устройства с целью обеспечения необходимых для следящих систем единичных значений статических коэффициентов передачи.

В-пятых, при синтезе алгоритмов управления реальными системами обязательно необходим учет ограничения уровня мощности управляющего сигнала. Существующие методы линейной теории оптимального управления, не учитывающие этого фактора, не позволяют в процессе синтеза алгоритмов определить предельные значения корней желаемых характеристических полиномов, ограничивающие реальные динамические характеристики системы. Учет существенно нелинейной характеристики ограничения уровня управляющего сигнала может быть выполнен, например, при помощи метода гармонической линеаризации.

В-шестых, методы синтеза алгоритмов управления должны быть представлены в обобщенных и компактных формах, объединяющих различные частные случаи (например – синтез одномерных и многомерных, статических и астатических регуляторов) и изложены в виде последовательности формальных процедур, допускающих простую реализацию на ЭВМ и пригодных для непосредственного использования при создании систем автоматизированного проектирования ЭГСС.

Целесообразно также использовать в процессе синтеза наглядный и удобный для практического инженерного анализа аппарат передаточных функций и структурных схем.

В-седьмых, необходим синтез некоторых оригинальных алгоритмов управления, расширяющих возможности повышения точности и быстродействия ЭГСС (в частности – алгоритмов управления с эталонными моделями («наблюдателями состояния») электрогидравлических исполнительных механизмов, алгоритмов, компенсирующих известные систематические погрешности измерительных систем, эффективных алгоритмов управления нелинейными системами).

Целью настоящей работы является обобщение и системное изложение научных методов синтеза унифицированных мультипликативных регуляторов для прецизионных систем автоматического управления технологическими процессами.

### **Общий принцип мультипликативного управления ЭГСС**

Электрогидравлический исполнительный механизм ЭГСС включает два основных элемента – гидродвигатель и сервоклапан. Выходными параметрами этих элементов являются механические перемещения, соответственно, рабочего органа гидродвигателя (штока или ротора) и золотника сервоклапана. Оба эти параметра доступны непосредственному измерению (в частности, сервоклапаны обычно укомплектовываются встроенными датчиками положения золотника, которые обеспечивают стандартный выходной электрический сигнал). Это обстоятельство позволяет использовать принцип мультипликативного управления [4], при котором электрогидравлический исполнительный механизм как объект управления разбивается на два отдельных контура – контур управления положением сервоклапана и контур управления выходным параметром гидродвигателя (рис. 1а)). Эти контуры могут работать от двух автономно настраиваемых регуляторов, каждый из которых имеет порядок не выше третьего.

Если объект управления имеет сложную структуру (многомассовая система с различными спектрами собственных частот), то он также может быть разбит на отдельные контуры с измеряемыми выходными параметрами (линейные или угловые перемещения), и в этом случае в структуру регулятора добавляются дополнительные контуры (не выше второго порядка) управления отдельными элементами объектами регулирования (рис. 1б)).

В схемах, представлених на рис. 1, гидродвигатель рассматривается как объект регулирования с одним управляемым входом – положением золотника сервоклапана  $X_3$  (дроссельное регулирование). Входные параметры источника питания (насос и гидроаккумулятор) при этом считаются постоянными (нерегулируемыми). В принципе, гидродвигатель имеет два управляемых входа – положение золотника сервоклапана (дроссельное регулирование) и давление (или расход) рабочей жидкости на выходе из источника питания (объемное регулирование). Совместное использование этих управляемых входов представляет гидродвигатель как объект регулирования с двумя управляемыми входами (объемно-дроссельное регулирование). Функциональная схема объёмно-дроссельного регулирования нагруженным гидродвигателем представлена на рис. 2. При этом три внутренних автономных контура управления (выходным параметром объекта, сервоклапаном и источником питания) имеют свои, доступные непосредственному измерению, выходные параметры: положение нагрузки (главная обратная связь), положение золотника (фиксируется встроенным в сервоклапан датчиком положения) и давление на выходе из гидроаккумулятора.

### Математические модели электрогидравлических исполнительных механизмов (ЭГИМ)

При обеспечении достаточных жесткостей связи гидродвигателя с нагрузкой и опор корпуса гидродвигателя модель нагруженного симметричного гидродвигателя может быть представлена системой уравнений третьего порядка

$$\begin{cases} T_{np}^2 \ddot{X}_H + 2\xi_{np} T_{np} \dot{X}_H + X_H = K_{np}^{xH} \Delta P \\ T_{2\partial}'' \Delta \dot{P} + \Delta P = K_{pa}^P P_a - K_{xn}'' \dot{X}_H + K_{x3}^P X_3 \end{cases} \quad ; \quad (1)$$

Полная структурная модель сервоклапана практически во всем диапазоне рабочих частот достаточно адекватно представляется в виде последовательного соединения апериодического и колебательного звеньев, т.е. также имеет третий порядок

$$\begin{cases} T_3 \dot{U}_Я + U_Я = U_y^{x3} \\ T_3^2 \ddot{X}_3 + 2\xi_3 T_3 \dot{X}_3 + X_3 = K_{эмн} U_Я \end{cases} \quad ; \quad (2)$$

Динамические процессы в источнике питания (линия «насос гидроаккумулятор»), без учета гидравлических потерь в линии ( $P_a \equiv P_n$ ) описываются уравнением

$$T_{ca}'' \dot{P}_a + P_a = -(K_{Q_{2л}}^{pa})'' Q_H. \quad (3)$$

Поскольку объемное регулирование имеет смысл лишь в том случае, если быстродействие объемного регулятора будет значительно выше, чем требуемое быстродействие объекта управления, то динамический порядок математической модели регулятора должен быть ниже, чем модели объекта управления (2). Т.е., структурная математическая модель объемного регулятора (регулятора расхода насоса) может быть представлена динамической моделью второго по-

рядка (моделью колебательного звена)

$$T_{\text{мун}}^2 \ddot{Q}_H + 2\xi_{\text{мун}} T_{\text{мун}} \dot{Q}_H + Q_H = K_H U_y^{pa}; \quad (4)$$

Уравнения (3) и (4) представляют математическую модель третьего порядка, описывающую динамические процессы в источнике питания («насос-гидроаккумулятор»). На рис. 1: СК – сервоклапан; ГД – гидродвигатель;  $OP_1 \dots OP_n$  – автономные динамические звенья объекта регулирования;  $P_{\text{гд}}$  и  $P_{\text{ск}}$  – регуляторы положения золотника сервоклапана и гидродвигателя;  $P_{x1} \dots P_{xn}$  – регуляторы положения звеньев объекта регулирования.

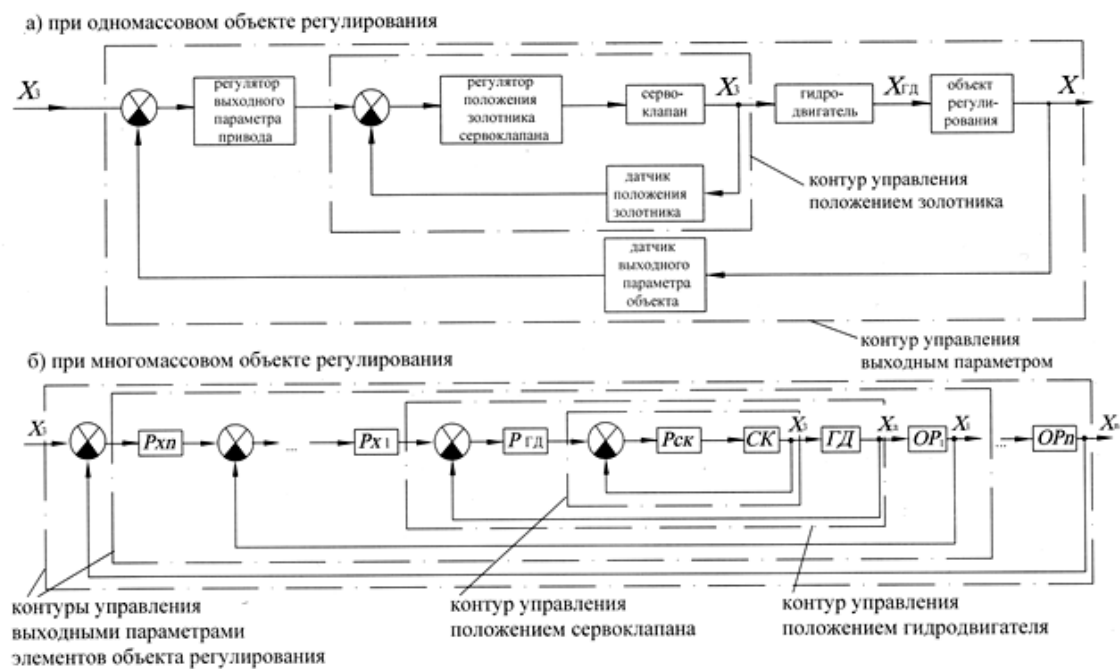


Рис. 1. Принцип мультипликативного управления ЭГСС

Структурная схема двухвходового объекта управления, соответствующего моделям (1)-(4), приведена на рис.3.

Параметры векторно-матричной формы

$$\dot{\vec{X}} = AX + B\vec{U}; \quad (5)$$

математических моделей (1)-(4) имеют следующий вид.

Модель гидродвигателя (1)

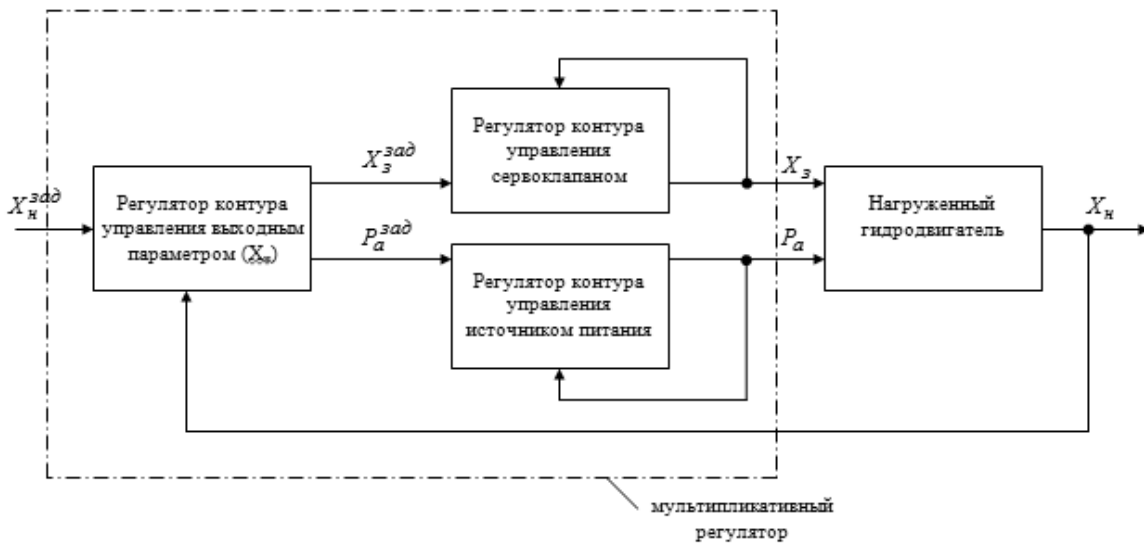
$$\vec{X} = [X_H; V_H; \Delta P]^T; \quad (6)$$

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ A_{21} & A_{22} & A_{23} \\ 0 & A_{32} & A_{33} \end{bmatrix}; \quad (7)$$

$$A_{21} = -\frac{1}{T_{np}^2}; A_{22} = -\frac{2\xi_{np}}{T_{np}}; A_{23} = \frac{K_{pnp}^{xn}}{T_{np}^2}; A_{32} = -\frac{K_{xn}''}{T_{z\partial}''}; A_{33} = -\frac{1}{T_{z\partial}''}; \vec{U} = [P_a; X_3] \quad (8)$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ b_{31} & b_{32} \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$b_{31} = \frac{K_{pa}^p}{T_{z\partial}''}; \quad b_{32} = \frac{K_{x3}^p}{T_{z\partial}''}$$



**Рис. 2.** Функциональная схема  
объемно-дроссельного регулирования нагруженным двигателем

Модель сервоклапана (2)

$$\vec{X} = [X_3; V_3; a_3]^T; \quad (10)$$

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} \end{bmatrix}; \quad (11)$$

$$A_{31} = -\frac{T_3^2 + 2\xi_3 T_3 T_3}{T_3 T_3^2}; A_{32} = -\frac{2\xi_3 T_3 + T_3}{T_3 T_3^2}; A_{33} = -\frac{1}{T_3 T_3^2}; \vec{U} = U_y^{x3}; \quad (12)$$

$$B = [0; 0; b_{31}]^T; \quad (13)$$

$$b_{31} = \frac{K_{\varepsilon mn}}{T_3 T_3^2};$$

Модель источника питания (3)-(4):

$$\vec{X} = [P_a; Q_H; V_Q]; \quad (14)$$

$$A = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{21} & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & A_{32} & A_{33} \end{bmatrix}; \quad (15)$$

$$A_{11} = -\frac{1}{T_{za}''}; \quad A_{12} = -\frac{(K_{Q_{zl}}^{pa})}{T_{za}''}; \quad A_{32} = -\frac{1}{T_{mun}^2}; \quad A_{33} = -\frac{2\xi_{mun}}{T_{mun}};$$

$$\vec{U} = U_y^{pa}; \quad (16)$$

$$B = [0; 0; b_{31}]^T; \quad (17)$$

$$b_{31} = \frac{K_H}{T_{mun}^2};$$

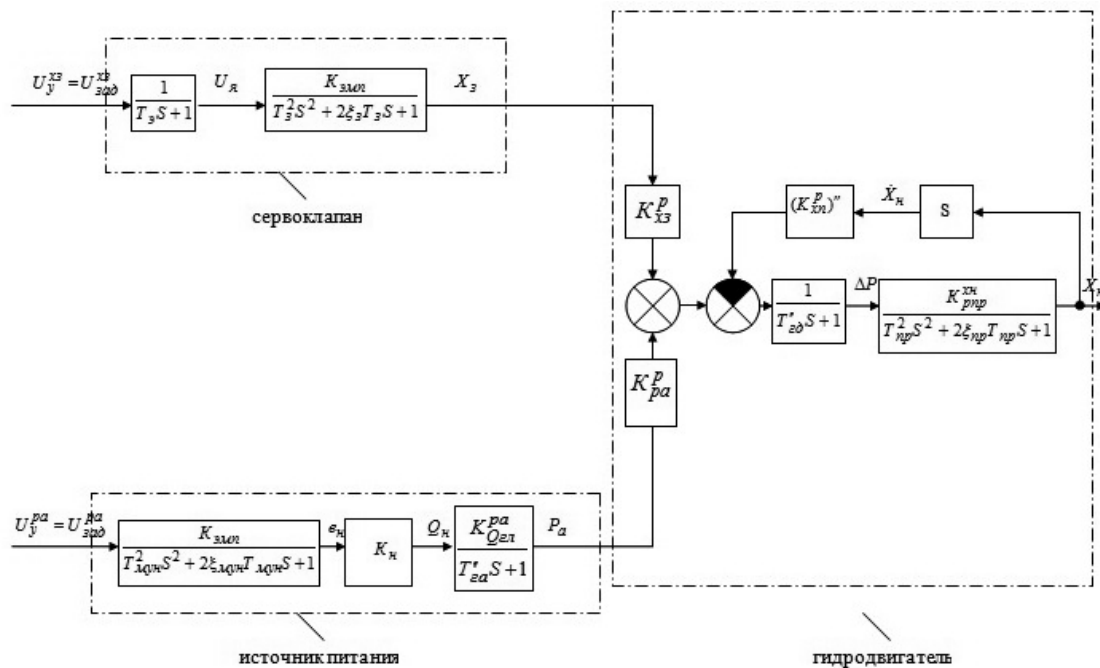


Рис. 3. Структурная схема ЭГП с выделенными автономными контурами

Таким образом, принцип мультипликативного управления ЭГСС сводится к следующим положениям.

1. Объект управления (нагруженный ЭГИМ) разбивается на три автономных контура: нагруженный гидродвигатель, сервоклапан и источник питания (система «насос-гидроаккумулятор»), первый из которых имеет два управляемых входа (положение управляющего золотника  $X_3$  и давление питания  $P_a$ ),



остальные – по одному (управляющие напряжения на входе в контуры управления положением золотника и расходом насоса).

2. Каждый из выделенных автономных контуров ЭГИМ может быть описан математической моделью третьего порядка (в векторно-матричной форме эти модели унифицированы по виду и по размерности) и имеет свой выходной параметр, доступный непосредственному измерению ( $X_n, X_z, P_a$ ).

3. По построенным векторно-матричным математическим моделям автономных контуров ЭГИМ, на основе информации об их выходных параметрах и на методологической основе общих методов современной теории оптимального управления (например, управление по параметрам состояния [6] или на основе решения обратных задач динамики [7, 8]) могут быть синтезированы унифицированные эффективные алгоритмы управления, обеспечивающие для каждого контура управления высокие показатели качества (точности и быстродействия). При этом, поскольку каждый из регуляторов будет иметь порядок не выше третьего, обеспечивается простота и точность выбора и настройки численных значения его параметров.

4. Для уменьшения количества измерительных систем (исключения измерения промежуточных параметров состояния) на основе предложенных математических моделей автономных контуров ЭГИМ могут быть синтезированы и наблюдатели состояния (эталонные модели) контуров, дающие информацию о всех необходимых для управления параметрах состояния.

5. Автономные регуляторы положения сервоклапана и расхода насоса должны обеспечить максимальное быстродействие этих контуров управления (их общие постоянные времени должны быть значительно меньше, чем постоянная времени объекта управления – нагруженного гидродвигателя). В этом случае, при синтезе алгоритма управления нагруженным гидродвигателем модели контуров управления положением сервоклапана и расходом насоса могут быть представлены пропорциональными звеньями, что обеспечит математической модели объекта управления (1) динамический порядок не выше третьего.

6. При синтезе алгоритма управления гидродвигателем может быть использован один (основной) управляемый вход – положение золотника сервоклапана  $X_z$  (дрессельное регулирование). При этом регулятор гидродвигателя по своей структуре и методике оптимизации параметров будет аналогичен регуляторам контуров управления сервоклапаном и насосом. Однако, в некоторых случаях, может оказаться целесообразным использовать и второй управляемый вход – давление источника питания  $P_a$  (объемно-дрессельное регулирование). Это может быть эффективные в тех случаях, когда отслеживание системой задающее воздействие имеет низкочастотную и высокочастотную составляющие. Тогда воспроизведение

низкочастотной составляющей может быть обеспечено изменением давления источника питания (более экономичное в энергетическом плане объемное регулирование), а воспроизведение высокочастотной составляющей – изменением положения золотника сервоклапана (более эффективное с точки зрения точности и быстродействия дроссельное регулирование). При использовании объемно-дроссельного регулирования для гидродвигателя должен быть синтезирован специальный алгоритм управления с двумя управляемыми входами.

### **Выводы**

1. Для быстродействующих прецизионных электрогидравлических следящих систем, используемых в современных автоматизированных системах управления технологическими процессами, предложен принцип мультипликативного управления, при котором в объекте управления выделяются три автономных, полностью управляемых и полностью наблюдаемых контура управления: нагруженный гидродвигатель, сервоклапан и источник питания; выходные параметры автономных контуров управления (перемещения рабочего органа гидродвигателя и золотника сервоклапана, давление источника питания) доступны непосредственному измерению типовыми измерительными средствами.

2. Сформулированы и представлены в типовой универсальной форме, удобной для динамического анализа и синтеза алгоритмов управления, линеаризованные математические модели выделенных автономных контуров управления; показано, что динамические процессы в этих контурах могут быть достаточно точно описаны математическими моделями не выше третьего порядка; теоретический анализ показал, что каждый из них является полностью управляемым и наблюдаемым, что означает возможность обеспечения высоких показателей качества управления для каждого контура управления в отдельности и для всей системы в целом.

3. На основе цикла расчетных и экспериментальных исследований современных пропорциональных сервоклапанов установлено, что автономный контур управления сервоклапаном дает возможность существенно повысить динамические характеристики (полосу пропускания) сервоклапана до значений, при которых они перестают оказывать существенное влияние на общие динамические характеристики электрогидравлического исполнительного механизма. При этом сервоклапан с высокими динамическими характеристиками фактически может быть представлен пропорциональным звеном в общем контуре управления. В практическом плане это означает, что предложенный принцип мультипликативного управления позволяет осуществлять автономный синтез регуляторов для

Міжвідомчий науково-технічний збірник «Адаптивні системи автоматичного управління» № 1' (32) 2018

каждого из выделенных контуров системы управления, уменьшит динамические порядки регуляторов (количество параметров, используемых в законе управления), обеспечивает возможность унификации структуры регуляторов, повышения их эксплуатационных характеристик (надежности и простоты настройки) и снижение стоимости.

### Список использованных источников

1. Канюк Г. И. Перспективы использования электронно-гидравлических устройств и современных энерго- ресурсосберегающих технологических системах // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. – Харьков. – 1999. – Вып. №44. –С. 39-40.

2. Канюк Г. И. К выбору типа исполнительного механизма для мехатронных систем / Г. И. Канюк, А. Н. Шуванов, Е. Н. Близниченко, М. В. Логвинов // Вестник национального технического университета «ХПИ». – Харьков. – 2002. – т.2, –№7. – С. 120-125.

3. Канюк Г. И. Техничко-економические аспекты разработки и внедрения быстродействующих прецизионных электрогидравлических следящих систем / Г. И. Канюк, Б. П. Калинин, Е. Н. Близниченко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – Харьков. – 2004. – Вып.6(12). –С. 216-217.

4. Артюх С.Ф. Эффективное энергосберегающее управление электрогидравлическими следящими системами / С. Ф. Артюх, Г. И. Канюк, А. Ю. Мезеря, М. А. Попов, Е. Н. Близниченко // Монография. – Харьков, Изд. «Точка». – 2012. –120 с. ISBN 978-617-669-019-1

5. Канюк Г.И. Прецизійних систем автоматичного регулювання турбогенераторних установок / Г. І. Канюк, А. Ю.Мезеря, О. М. Близниченко, В. Є. Мельников, І. А. Бабенко // Енергозбереження. Енергетика. Енергоаудит. – Харков. – 2014. – №11(130). –С. 12-27.

6. Кузовков Н.Т. Модальное управление и управляющие устройства / Кузовков Н.Т. – М.: Машиностроение, 1976. –184с.

7. Крутько П.Д. Обратные задачи динамики управляемых систем: линейные модели / П.Д. Крутько. –М.: Наука, 1987. –304с.

8. Крутько П.Д. Обратные задачи динамики управляемых систем: нелинейные модели / П.Д. Крутько. –М.: Наука, 1988. –328с.

## **ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ АСТАТИЧЕСКОГО РЕГУЛЯТОРА САР ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ ГИДРОТУРБИНЫ НА ОСНОВЕ РЕШЕНИЯ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ ДИНАМИКИ**

*Анотация.* В статье описана структура и принцип действия астатического регулятора САР Ч и М гидротурбины, на основе критерия минимума интеграла от произведения абсолютного значения ошибки на время выполнены параметрический синтез и оптимизация прецизионного регулятора САРЧ и М гидротурбины.

*Ключевые слова.* Гидроагрегат, астатический регулятор, математическая модель, параметрический синтез.

### **Введение**

Гидравлические турбины ГЭС и ГАЭС работают в режиме резко переменных нагрузок и участвуют в покрытии пиковых и полупиковых суточных графиков. В связи с этим, основным требованием, предъявляемым к системам регулирования гидравлических турбин, является быстродействие и точность. Эти параметры в значительной степени влияют на уровень вырабатываемой мощности, поддержания необходимого баланса в энергосистеме за счет поддержания частоты и мощности.

Существующие системы регулирования гидравлических турбин основаны на ПИД-регуляторах, которые обладают рядом достоинств и недостатков. Среди достоинств можно отметить относительную простоту реализации, а к недостаткам относится недостаточная точность в статических и динамических режимах работы. Устранение этого недостатка видится в принципиально новых подходах к созданию систем управления частоты и мощности гидравлических турбин, основанных на решении обратных задач динамики.

Как показали исследования [1] такие системы значительно повышают точность регулирования частоты и мощности гидравлических турбин в статических и динамических режимах, что и определяет актуальность данной работы.

При создании САР Ч и М основным этапом является параметрический синтез регулятора, от точности выполнения которого зависят основные параметры указанные выше.

**Параметрический синтез астатического регулятора САР Ч и М гидроагрегата.**

Параметрический синтез прецизионного регулятора осуществлялся при помощи выбора стандартных характеристических полиномов, которые соответствовали следующему принятому функционалу оптимизации [2]:

Общий оптимизирующий функционал:

$$I = \min \int |\varepsilon(t)| dt \quad (1)$$

Такого функционал обеспечивает компромисс между статической и динамической точностью, при этом учитываются технологические ограничения: ограничения управляющего напряжения на входе (электрогидравлический усилитель) и ограничения параметров электрогидравлического привода по давлениям, расходу и потребляемой мощности [2].

Технологические ограничения следующие:

– Ограничение управляющего напряжения на входе в электрогидравлический усилитель  $|U_y| \leq U_{\max}$  ;

– Ограничение параметров электрогидравлического привода:

$$P \leq P_{\max} ; P_{\Pi} \leq P_{\Pi.\max} ; N \leq N_{\max} ;$$

– Желаемый характеристический полином:

$$D^*(S) = S^{2N} + \sum_{i=0}^{2N-1} d_i^* S^i = 0 ; (n=8; k=1; N=n+k=9). \quad (2)$$

Матричное соотношение для определения оптимальных значений параметров регулятора:

Схема регулятора третьего порядка

$$\begin{bmatrix} C_0 \\ C_1 \\ C_2 \\ C_3 \\ r_0 \\ r_1 \\ r_2 \\ r_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & b_0 & 0 & 0 & 0 \\ a_0 & 0 & 0 & 0 & b_1 & b_0 & 0 & 0 \\ a_1 & a_0 & 0 & 0 & b_2 & b_1 & b_0 & 0 \\ a_2 & a_1 & a_0 & 0 & 0 & b_2 & b_1 & b_0 \\ 1 & a_2 & a_1 & a_0 & 0 & 0 & b_2 & b_1 \\ 0 & 1 & a_2 & a_1 & 0 & 0 & 0 & b_2 \\ 0 & 0 & 1 & a_2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} a_{H0} \\ a_{H1} \\ a_{H2} \\ a_{H3} \\ a_{H4} \\ a_{H5} - a_0 \\ a_{H6} - a_1 \\ a_{H7} - a_2 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Схема регулятора второго порядка

$$\begin{bmatrix} c_0 \\ c_1 \\ c_2 \\ r_0 \\ r_1 \\ r_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & b_0 & 0 & 0 \\ a_0 & 0 & 0 & b_1 & b_0 & 0 \\ a_1 & a_0 & 0 & b_1 & b_0 & 0 \\ 1 & a_1 & a_0 & 0 & b_1 & b_0 \\ 0 & 1 & a_1 & 0 & 0 & b_1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{H0} \\ a_{H1} \\ a_{H2} \\ a_{H3} \\ a_{H4} - a'_0 \\ a_{H5} - a'_1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Коэффициенты регулятора представим в линеаризованном виде [3]:

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{\omega}_{\Gamma\Gamma} = -\frac{1}{T_{\Gamma\Gamma}} \omega_{\Gamma\Gamma} + \frac{K_{\text{мд}}}{T_{\Gamma\Gamma}} Q - \frac{(K_{\text{МН}}^N)_{\text{пр}}}{T_{\Gamma\Gamma}} N \\ \dot{Q} = -\frac{1}{T_{\text{вод}}} Q + \frac{K_Z^Q}{T_{\text{вод}}} K_{X_{\text{СМ}}}^Z X_{\text{СМ}} \\ \dot{X}_{\text{СМ}} = V_{\text{СМ}} \\ V_{\text{СМ}} = -\frac{2\xi}{T_{\text{СМ}}^{\text{М}}} V_{\text{СМ}} - \frac{1}{(T_{\text{СМ}}^{\text{М}})^2} X_{\text{СМ}} + \frac{K_{\Delta P}^{X_{\text{СМ}}}}{(T_{\text{СМ}}^{\text{М}})^2} \Delta P \\ \Delta \dot{P} = -\frac{K_{\dot{X}_{\text{Р}}}}{T_{\Gamma}^{\text{СМ}}} V_{\text{СМ}} - \frac{1}{T_{\Gamma}^{\text{СМ}}} \Delta P + K_{X_{\text{ОЗ}}}^P X_{\text{ОЗ}} \\ \dot{X}_{\text{ОЗ}} = V_{\text{ОЗ}} \\ \dot{V}_{\text{ОЗ}} = -\frac{1}{(T_{\text{ЭГП}}^{\text{М}})^2} X_{\text{ОЗ}} - \frac{2\xi_{\text{ЭГП}}}{T_{\text{ЭГП}}^{\text{М}}} V_{\text{ОЗ}} + \frac{K_{X_{\text{ОЗ}}}^i}{(T_{\text{ЭГП}}^{\text{М}})^2} i \\ \dot{i} = -\frac{1}{T_{\text{ЭГП}}^{\text{Э}}} i + \frac{K_{iu}}{T_{\text{ЭГП}}^{\text{Э}}} U_y \end{array} \right. \quad (5)$$

По результатам идентификации экспериментальных данных улучшена упрощенная математическая модель контура регулирования по основным существенным факторам, влияющим на точность САР Ч и М:

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{X}_3 = V_3, \\ T_3^2 \dot{V}_3 + 2\xi_3 T_3 V_3 + X_3 = K_{xi} K_{X_{\text{ОЗ}}}^i \cdot i; \\ T_{\Gamma\text{Ц}}^X \dot{X}_{\Gamma\text{Ц}} + X_{\Gamma\text{Ц}} = K_X K_{\text{ОЗ}} X_3 \end{array} \right. \quad (6)$$

или в векторно-матричной форме:

$$\dot{\vec{X}} = A\vec{X} + b\vec{U}, \quad (7)$$

где

$$\vec{X} = [X_{\Gamma\text{Ц}}; X_3; V_3]^T \quad (8)$$

$\vec{X}$  – вектор параметров состояния объекта;

$X_{\Gamma\text{Ц}}$  – перемещение штока гидроцилиндра (сервомотора);

$X_3$  и  $V_3$  – перемещение и скорость отсечного золотника.

$$a = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} \\ A_{21} & A_{22} & A_{23} \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} \end{bmatrix} \quad (9)$$

– матрица объекта с элементами

$$A_{11} = -\frac{1}{T_{\text{гц}}^x}; \quad A_{12} = \frac{K_x}{T_{\text{гц}}^x}; \quad A_{23} = 1; \quad A_{32} = -\frac{1}{T_3^2}; \quad A_{33} = -\frac{2\xi_3}{T_3};$$

$$A_{13} = A_{21} = A_{22} = A_{31} = 0; \quad \vec{U} = i$$

$\vec{U}$  – вектор управляющих воздействий;

$$b = [0; 0; b_i]^T \quad (10)$$

$$b_i = K_{xi} K_{\text{хоз}}^i / T_3^2$$

– матрица (вектор) управления.

Ориентировочные значения параметров математической модели (6) (постоянных времени, коэффициентов демпфирования и статических коэффициентов передачи), полученные в результате оценочных статических и динамических расчетов, составляют:

$$T_3 = 4,8 \cdot 10^{-2} \text{ с}; \quad \xi_3 = \xi_{\text{ЭМП}} = 1; \quad K_{\text{хоз}}^i = 1,05 \cdot 10^{-3} \text{ м / А}; \quad T_{\text{гц}}^x = 103,25 \text{ с};$$

$$K_x = 4572,5; \quad K_{xi} = 15 \text{ А / м}.$$

Идентификация (уточнение параметров) исходной математической модели выполнялась методом вычислительного эксперимента путем варьирования параметров  $T_3$ ,  $T_{\text{гц}}^x$  до удовлетворительного совпадения расчетных и экспериментальных переходных и частотных характеристик системы с традиционным регулятором, формирующим закон управления вида

$$i = \left[ (X_{\text{гц}}^3 - X_{\text{гц}}) K_{xi} K_1 - X_{\text{оз}} K_{xi} \right] K_2 \quad (11)$$

В результате вычислительного эксперимента установлено, что удовлетворительное совпадение расчетных и экспериментальных динамических характеристик системы имеет место при следующих значениях параметров математической модели:

$$T_3 = 2 \cdot 10^{-2} \text{ с}; \quad \xi_3 = \xi_{\text{ЭМП}} = 1; \quad K_{\text{хоз}}^i = 1,05 \cdot 10^{-3} \text{ м / А}; \quad T_{\text{гц}}^x = 115 \text{ с};$$

$$K_x = 4572,5; \quad K_{xi} = 15 \text{ А / м}.$$

Таким образом, математическая модель (6) при полученных в результате идентификации значениях параметров является достаточно адекватной и может использоваться для синтеза прецизионного быстродействующего регулятора электрогидравлического исполнительного механизма.

Передаточная функция гидравлического исполнительного механизма представляется в виде:

$$W_1(S) = \frac{X_{гц}(S)}{i'_y(S)} = \frac{B(S)}{A(S)} = \frac{b_1S + b_0}{a_{3F}S^3 + a_{2F}S^2 + a_{1F}S + a_{0F}}, \quad (12)$$

где  $b_1 = 0, b_0 = K_{хо3}^i K_x K_{xi}, a_{3F} = T_3^2 T_{гц}^x, a_{2F} = 2\xi_3 T_3 T_{гц}^x, a_{1F} = 2\xi_3 T_3 T_{гц}^x, a_{0F} = 0$

Приведенная передаточная функция эквивалентного (обладающего астатизмом первого порядка;  $k = 1$ ) объекта управления третьего порядка

$$W'_1(S) = \frac{B(S)}{S^k A(S)} = \frac{B'(S)}{A'(S)} = \frac{b_1S + b_0}{a_{3F}S^4 + a_{2F}S^3 + a_{1F}S^2 + a_{0F}S}, \quad (13)$$

где  $b'_0 = b_0 / a_{3F}; a_3 = 1; a_2 = a_{2F} / a_{3F}; a_1 = a_{1F} / a_{3F}; a_0 = a_{0F} / a_{3F}$ .

Решение обратной задачи динамики для эквивалентного объекта управления дает следующие выражения для закона управления:

а) в виде передаточной функции

$$W_p(S) = \frac{i_y(S)}{\varepsilon(S)} = \frac{r_0 + r_1S + r_2S^2 + r_3S^3}{S(C_0 + C_1S + C_2S^2 + C_3S^3 + S^4)}; \quad (14)$$

б) в дифференциальной форме

$$i_y^{(n+2k)}(t) + \sum_{j=0}^n C_j i_y^{(j+k)}(t) = \sum_{j=0}^n r_j \varepsilon^{(j)}, \quad (15)$$

или

$$\begin{aligned} i_y^{(5)}(t) + C_0 i_y^{(1)}(t) + C_1 i_y^{(2)}(t) + C_2 i_y^{(3)}(t) + C_3 i_y^{(4)}(t) = \\ = r_0 \varepsilon(t) + r_1 \varepsilon^{(1)}(t) + r_2 \varepsilon^{(2)}(t) + r_3 \varepsilon^{(3)}(t), \end{aligned} \quad (16)$$

где  $n = 3$  – динамический порядок системы;  $k = 1$  – принятый порядок астатизма регулятора.

Алгоритм управления универсального астатического регулятора, построенного на основе решения обратной задачи динамики в канонической форме имеет вид:

$$\begin{cases} i'_1 = i_2, \\ i'_2 = i_3, \\ i'_3 = i_4, \\ i'_4 = i_5, \\ i'_5 = -C_0 i_2 - C_1 i_3 - C_2 i_4 - C_3 i_5 + \varepsilon, \\ U_y(t) = r_0 i_1 + r_1 i_2 + r_2 i_3 + r_3 i_4; \end{cases} \quad (17)$$

Структурная схема регулятора, соответствующего закону управления (3)-(17), приведена на рис. 1.



Прецизионный астатический регулятор гидротурбины, построенный на решении обратных задач динамики, состоит из последовательно соединенного задатчика 1, электронного регулятора 2, блока предоставления переменного коэффициента усиления 3, сервоклапаны и гидравлического двигателя 4, датчика обратной связи 5 и блока коррекции показателей датчика обратной связи 6. Электронный регулятор 2 включает последовательно соединенные сумматор 7 с пятью входами, пять интеграторов (8, 9, 10, 11, 12), сумматор 13 с четырьмя входами, а также восемь пропорциональных (масштабных элементов 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21) - с помощью которых организовано четыре отрицательных обратных связей (масштабные элементы 14, 15, 16, 17) и четыре положительные связи (масштабные элементы 18, 19, 20, 21) [1].

Электрогидравлический следящий привод работает следующим образом: заданная программа работы, сформирована в задатчика 1 в виде задаваемые последовательности электронных сигналов проходит через электронный регулятор 2, где формируется закон управления (17) на основе разрешения обратной задачи динамики объекта управления. Сигнал поступает на дополнительное электронное корректирующее устройство, которое обеспечит реализацию переменного коэффициента усиления контура управления, а именно: высокий (двух- и трехкратный от номинального) коэффициент усиления в диапазоне малых смещений объекта от номинального положения с целью компенсации погрешностей, обусловленных статическими нелинейными характеристиками (нечувствительность элементов, сухое трение, люфты и др.) [1].

Практическая реализация закона управления может быть осуществлена путем численного интегрирования системы дифференциальных уравнений (17) в микропроцессорном устройстве цифровой системы управления или путем моделирования при помощи аналоговых средств управления в соответствии со структурной схемой, приведенной на рис. 1.

При использовании законов управления (3)-(17) передаточная функция замкнутой системы по задающему воздействию и по ошибке могут быть представлены в виде:

$$W(S) = \frac{X_{\text{ГЦ}}(S)}{X_{\text{ГЦ}}^3(S)} = \frac{R(S)}{D(S)} B(S), \quad (18)$$

$$W_{\varepsilon}(S) = \frac{\varepsilon(S)}{X_{\text{ГЦ}}^3(S)} = \frac{C(S)}{D(S)} A(S), \quad (19)$$

где:

$$A(S) = a_3 S^3 + a_2 S^2 + a_1 S + a_0, \quad (20)$$

$$B(S) = b_2 S^3 + b_1 S + b_0, \quad (21)$$

$$C(S) = S^3 + C_2 S^2 + C_1 S + C_0, \quad (22)$$

$$D(S) = S^6 + d_5 S^5 + d_4 S^4 + d_3 S^3 + d_2 S^2 + d_1 S + d_0 \quad (23)$$

$$R(S) = r_2 S^2 + r_1 S + r_0; \quad (24)$$

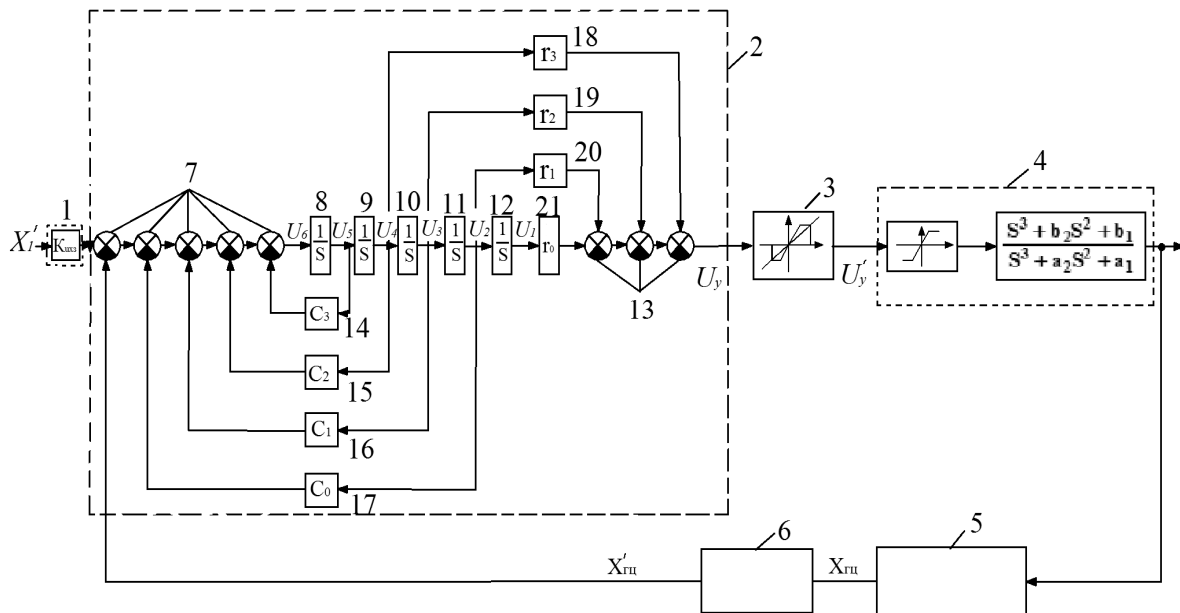


Рис. 1 – Структурная схема астатического регулятора, построенного на основе решения обратной задачи динамики для объекта первого порядка

В выражениях (20)-(24)

$d_i$  ( $i = 0, \dots, 5$ ) – коэффициент характеристического полинома замкнутой системы;

$C_j$  ( $j = 0, \dots, 2$ ) и  $r_m$  ( $m = 0, \dots, 2$ ) – коэффициенты регулятора.

Полиномиальное уравнение для определения коэффициентов регулятора

$$A'(S)C(S) + B(S)R(S) = D^*(S), \quad (25)$$

где

$$A(S) = a_3 S^4 + a_2 S^3 + a_1 S^2 + a_0 S, \quad (26)$$

$$B(S) = b_2 S^2 + b_1 S + b_0, \quad (27)$$

$$C(S) = S^4 + C_3 S^3 + C_2 S^2 + C_1 S + C_0, \quad (28)$$

$$R(S) = r_3 S^3 + r_2 S^2 + r_1 S + r_0, \quad (29)$$

$$D^*(S) = S^8 + d_7^* S^7 + d_6^* S^6 + d_5^* S^5 + d_4^* S^4 + d_3^* S^3 + d_2^* S^2 + d_1^* S + d_0^*; \quad (30)$$

Численные значения коэффициентов регулятора, определенные из соотношений (25)-(30) при исходных значениях параметров математической модели (6)

и корня характеристического уравнения  $\omega_0$  составляют:

$$C_0 = 1,07 \cdot 10^7; r_0 = 2,75 \cdot 10^5; C_1 = -1,79 \cdot 10^5; r_1 = -0,3 \cdot 10^5;$$

$$C_2 = 3,1 \cdot 10^3; r_2 = -2,67 \cdot 10^{10}; C_3 = -37,6; r_3 = -3,94 \cdot 10^5.$$

Выражения для передаточных функций системы регулирования (разомкнутой, замкнутой и по ошибке) имеют вид:

$$W_p(S) = \frac{X_{\text{гц}}(S)}{\Delta X(S)} = \frac{b_3 S^3 + b_2 S^2 + b_1 S + b_0}{a_{p8} S^8 + a_{p7} S^7 + a_{p6} S^6 + a_{p5} S^5 + a_{p4} S^4 + a_{p3} S^3 + a_{p2} S^2 + a_{p1} S + a_{p0}} \quad (31)$$

$$W_3(S) = \frac{X_{\text{гц}}(S)}{X_{\text{гц}}^3(S)} = \frac{b_3 S^3 + b_2 S^2 + b_1 S + b_0}{a_{38} S^8 + a_{37} S^7 + a_{36} S^6 + a_{35} S^5 + a_{34} S^4 + a_{33} S^3 + a_{32} S^2 + a_{31} S + a_{30}} \quad (32)$$

$$W_3(S) = \frac{X_{\text{гц}}(S)}{X_{\text{гц}}^3(S)} = \frac{b_3 S^3 + b_2 S^2 + b_1 S + b_0}{a_{38} S^8 + a_{37} S^7 + a_{36} S^6 + a_{35} S^5 + a_{34} S^4 + a_{33} S^3 + a_{32} S^2 + a_{31} S + a_{30}} \quad (33)$$

где:

$$b_3 = K_{xi} K_{x03}^i K_{xr3}; b_2 = K_{xi} K_{x03}^i K_{xr2}; b_1 = K_{xi} K_{x03}^i K_{xr1}; b_0 = K_{xi} K_{x03}^i K_{xr0}. \quad (34)$$

$$a_{p8} = a_{н8} = 1, a_{p7} = a_{н7} = 5,2\omega_0, a_{p6} = a_{н6} = 12,8\omega_0^2, a_{p5} = a_{н5} = 21,6\omega_0^3,$$

$$a_{p4} = a_{н4} = 25,75\omega_0^4, a_{p3} = a_{н3} = 22,2\omega_0^5, a_{p2} = a_{н2} = 13,3\omega_0^6, a_{p1} = a_{0c0}, a_{p0} = 0,$$

$$a_{38} = a_{\varepsilon8} = a_{p8}, a_{37} = a_{\varepsilon7} = a_{p7}, a_{36} = a_{\varepsilon6} = a_{p6}, a_{35} = a_{\varepsilon5} = a_{p5}, a_{34} = a_{\varepsilon4} = a_{p4},$$

$$a_{33} = a_{p3} + b_3, a_{32} = a_{p2} + b_2, a_{31} = a_{p1} + b_1, a_{30} = a_{p0} + b_0,$$

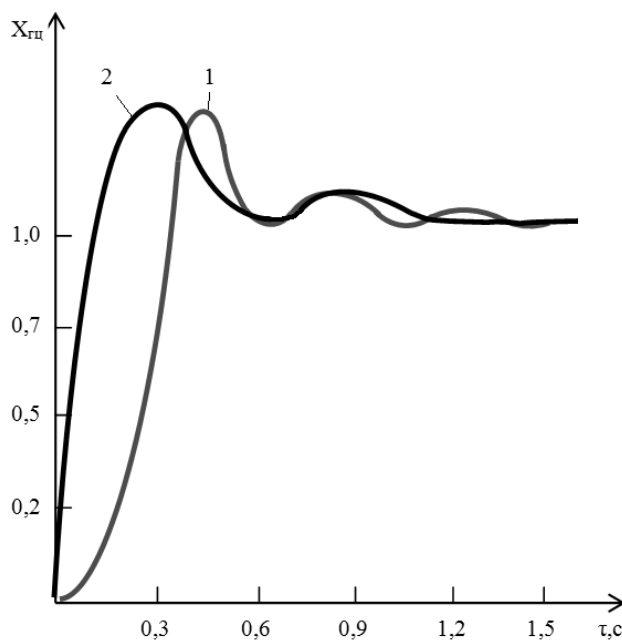
$$a_{\varepsilon3} = a_{33} + b_3, a_{\varepsilon2} = a_{32} + b_2, a_{\varepsilon1} = a_{31} + b_1, a_{\varepsilon0} = a_{30} + b_0;$$

В статическом режиме ( $S=0$ ) передаточная функция замкнутой системы

$$W_3(S) = \frac{X_{\text{гц}}(S)}{X_{\text{гц}}^3(S)} = \frac{b_0}{a_{30}} = \frac{b_0}{a_{p0} + b_0} = \frac{b_0}{b_0} = 1.$$

Это означает, что статическая ошибка системы с синтезированным регулятором равна нулю, несмотря на наличие перетечек рабочей жидкости в сервомоторе. Наличие 1% внутренних перетечек обуславливает статическую ошибку регулирования положения сервомотора до 0,1%. Таким образом, предложенный регулятор делает систему регулирования астатической и позволяет повысить ее точность на 0,1 %.

На рис. 2 приведенные переходные характеристики базового объекта и объекта с предложенным регулятором, параметры которого оптимизированы по критерию минимума интеграла от произведения абсолютного значения ошибки на время.



**Рис. 2** – Сравнение переходных характеристик базового объекта и объекта с предложенным регулятором

Система с предложенным регулятором имеет время первого согласования 0,12 с и время регулирования 0,7 с, а базовый объект, соответственно, 0,3 с и 1,5 с. Таким образом, предложенный регулятор обеспечивает более чем двукратное повышение быстродействия по сравнению с базовым вариантом. При этом максимальное перерегулирование в системе с предложенным регулятором на 12-15 % меньше, чем в базовом варианте, что свидетельствует о более высоком запасе устойчивости.

### **Выводы**

Разработанный регулятор способен обеспечить повышение точности регулирования частоты и мощности гидро агрегатов гидравлических электростанций (и, соответственно, стабильности частоты производимой электро энергии) в 3-5 раз (с 0,3 до 0,1-0,05%) и доведение этих показателей до уровня международных стандартов.

На основе критерия минимума интеграла от произведения абсолютного значения ошибки на время выполнены параметрический синтез и оптимизация прецизионного регулятора САРЧ и М гидротурбины.

### Список использованной литературы

1. Г. И. Канюк Прецизионная система автоматического регулирования гидротурбины / Г. И. Канюк, А. Ю. Мезеря, В. Е. Мельников // *Вісник НТУ «ХПИ»*. – 2015. – № 17. – С. 91-96.
2. Мельников В. Е. Параметрический синтез астатического регулятора САР частоты вращения гидротурбины на основе решения обратной задачи динамики [Текст] \* / В. Е. Мельников // *Материалы XXIII межд. науч. конф. (автоматика-2016)*. – Сумы, 2016. – С. 94 –95.
3. Канюк Г. И. Модели и методы структурного и параметрического синтеза прецизионных электрогидравлических следящих систем автоматизированных испытательных стендов: дис. ... д-ра техн. наук. – Харьков. –2009 г. – С. 425-439.

## **ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КЕШУВАННЯ SQL ЗАПИТІВ**

*Анотація:* Розглядається проблема ефективного кешування SQL запитів. В статті проведено порівняльний аналіз стандартних структур даних мови програмування Java, розглянуто їх основні особливості, переваги та недоліки. Наведено результати серії експериментів по тестуванню структур даних як сховища ключів (SQL стрічок), яку було проведено на заздалегідь імplementованому кеші запитів. Запропоновано структури даних, яких немає в стандартній бібліотеці Java, виконано їх реалізацію. Експериментально доведено, що використання таких структур даних дає кращі результати при кешуванні SQL запитів.

*Ключові слова:* кешування, Java, структури даних.

### **Опис проблеми**

В додатках, написаних на Java, дуже часто з метою зменшення навантаження на бази даних використовують кешування. Одним з видів кешування даних на стороні сервера є кешування запитів до баз даних [1]. Для ефективного і раціонального використання функціональності з кешування запитів необхідно розуміти, як і з якими структурами даних може працювати даний вид кешування. В Інтернеті можна знайти достатньо інформації про те, що таке кеш, як і коли його застосовувати, приклади його використання. На порядок менше інформації віддають сучасні пошукові системи питанню - що таке кешування запитів і навіщо воно потрібне. І майже відсутня інформація про структури даних, які можуть бути використані в інструментах кешування запитів до баз даних, не говорячи вже конкретно про мову програмування Java. Саме тому постала задача проаналізувати існуючі структури даних мови програмування Java й ті, які потенційно могли б задовольнити потреби функціональності з кешування запитів.

### **Огляд існуючих рішень**

Що таке структура даних? Структури даних – це способи організації даних в комп'ютерах. Часто разом зі структурою даних пов'язується і специфічний перелік операцій, що можуть бути виконаними над даними, організованими в таку структуру [2].

Правильний підбір структур даних є надзвичайно важливим для ефективного функціонування відповідних алгоритмів їх обробки. Добре побудовані структури даних дозволяють оптимізувати використання машинного часу та пам'яті

Міжвідомчий науково-технічний збірник «Адаптивні системи автоматичного управління» № 1' (32) 2018 комп'ютера для виконання найкритичніших операцій. Відома формула «Програма = Алгоритми + Структури даних» дуже точно виражає необхідність відповідального ставлення до такого підбору.

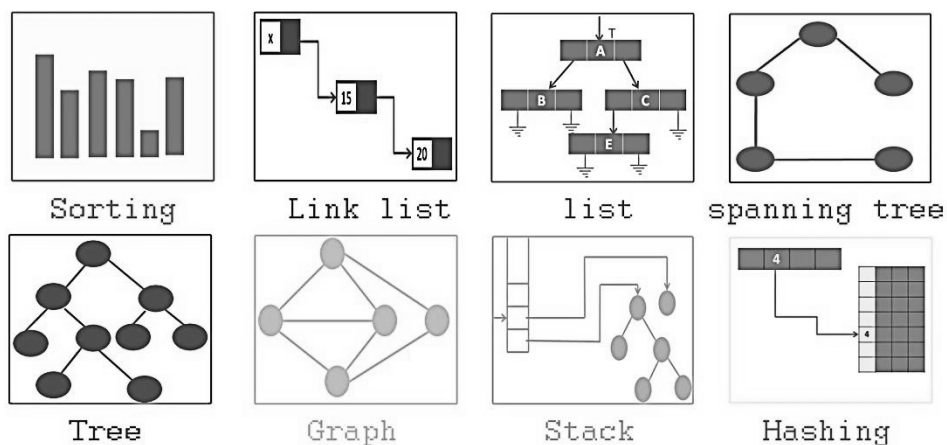


Рис. 1. Приклад структур даних

Одна з найбільш вживаних структур – *ArrayList* – є аналогом звичайного масиву даних (котрий присутній майже в будь-якій мові програмування), але має одну відмінну рису – можливість автоматично змінювати свій розмір під час роботи програми [3].

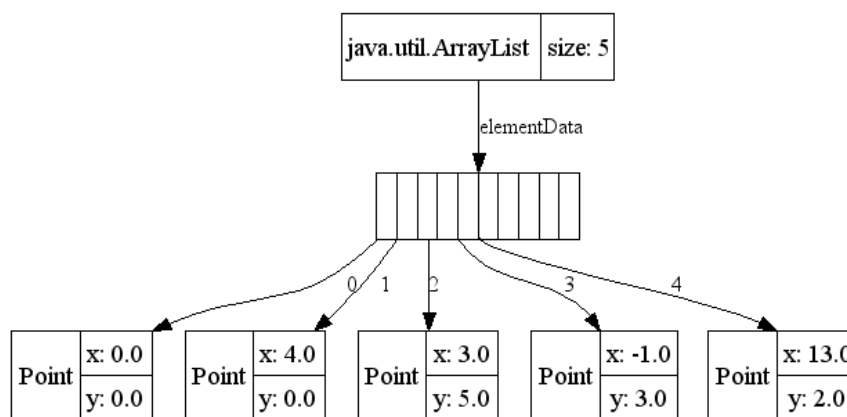


Рис. 2. ArrayList

При додаванні нового елемента в дану структуру перевіряється, чи достатньо місця в масиві для вставки нового елемента, якщо місця не достатньо, то створюється новий масив більшого розміру, а дані що були попередньо збережені, переносяться в новий, після чого новий елемент додається в кінець масиву.

Під час видалення елемента послідовно переглядаються всі елементи до тих пір поки не буде знайдено перше співпадіння ключа пошуку з елементом масиву. Видаляється перший знайдений елемент. Також можливе видалення елемента по індексу. Пошук елемента в даній структурі можливий за індексом або через послідовний перебір елементів.

Проведемо експеримент з даною (і наступними) структурами:

Візьмемо 3 набори даних - 100, 1000 й 10000 елементів. Кожний елемент вибірки - деякий запит до бази даних (SQL стрічка). Оскільки для інструментів кешування головними робочими характеристиками є швидкість отримання елемента з пам'яті та об'єм кешу в цілому, відповідно виміряємо їх. Для кожної вибірки проводиться 5000 вимірів - ключ, котрий ми хочемо знайти в даній структурі, додається в випадковому порядку, тобто при кожному вимірі він може бути доданий як перший, п'ятий, або останній і т.д. по рахунку елемент.

Тестування структур даних, як сховища ключів (SQL стрічок), було проведено на заздалегідь імplementованому кеші запитів, що відповідає наступним вимогам:

- має зручний інтерфейс;
- легкий та зрозумілий в налаштуванні;
- без надмірної функціональності;
- має просту інтеграція з SQL інтерфейсом Java;
- автоматична конвертація результату SQL запиту як Java об'єктів;
- по мінімуму використань сторонніх бібліотек.

Таблиця 1.

**Результат експерименту з ArrayList**

Кількість елементів (одиниць)	100	1000	10000
Середній час пошуку елемента (наносекунд)	1765	8500	112776
Об'єм структури (байт)	13280	132976	1336256

Наступною важливою структурою є *LinkedList* – структура даних що представляє собою двозв'язний список елементів, де кожен елемент даної структури містить покажчик на наступний елемент списку та на попередній [3].

При додаванні елемента створюється нова проміжна структура у ланцюжку, на дану структуру встановлюються покажчики з попереднього елемента і з наступного. При видаленні елемента перевизначаються покажчики на попередній і наступний елемент. Для пошуку елементів в даній структурі використовується ітератор, тобто пошук елементів здійснюється шляхом послідовного перебору



Міжвідомчий науково-технічний збірник «Адаптивні системи автоматичного управління» № 1' (32) 2018 елементів. Також можливий пошук елементів по індексу, але даний пошук все одно використовує ітератор.

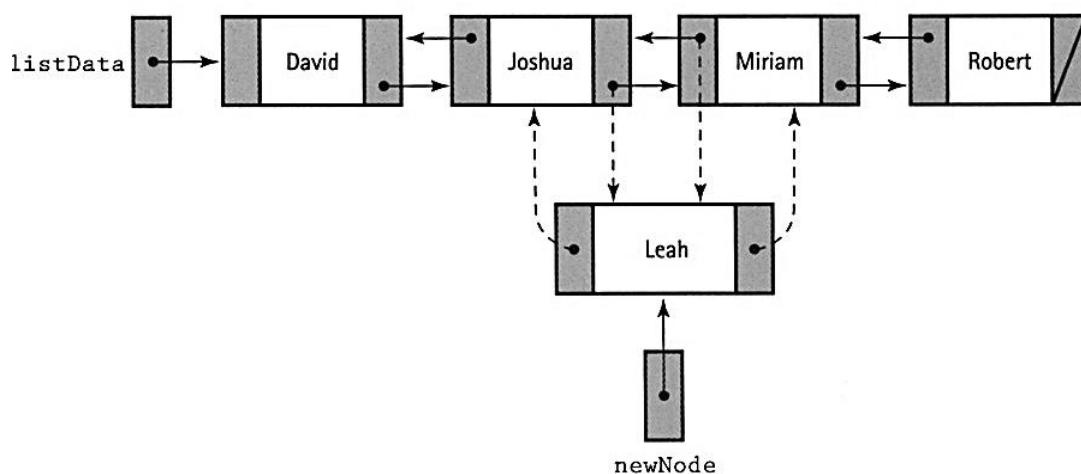


Рис. 3. Структура даних LinkedList

Таблиця 2.

**Результат експерименту з LinkedList**

Кількість елементів (одиниць)	100	1000	10000
Середній час пошуку елемента (наносекунд)	2055	9318	133631
Об'єм структури (байт)	15232	152914	1522534

Структура даних *HashMap* побудована на основі хеш-таблиць та зберігає данні у вигляді ключ/значення [3]. Дана структура може зберігати дані різних типів, вирішення колізій побудовано на основі методу ланцюжків. Враховуючи те, що для нас важливим показником є швидкість знаходження елемента у даній структурі, опишемо його: якщо значення ключа є пустим, то відбувається пошук елемента у ланцюжку, що знаходиться у комірці з індексом 0. Якщо значення ключа пошуку не пусте, вираховується хеш-значення даного ключа, за цим значенням вираховується значення комірки в якій зберігається ланцюжок значень. Шляхом послідовного порівняння відповідного ключа з ключами у ланцюжку знаходиться елемент, що відповідає даному ключу. Також дана структура надає можливість використовувати ітератори, що дозволяють отримати всі ключі та всі значення, або всі пари ключ/значення.

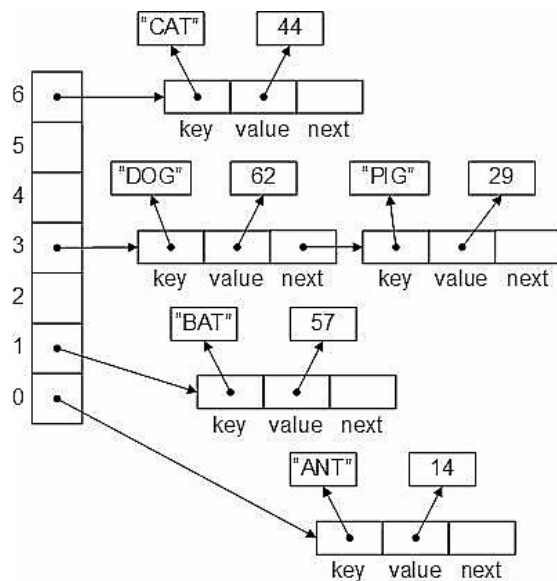


Рис. 4. Структура даних HashMap

Таблиця 3.

**Результат експерименту з HashMap**

Кількість елементів (одиниць)	100	1000	10000
Середній час пошуку елемента (наносекунд)	281	312	345
Об'єм структури (байт)	14688	144256	1425600

Структура даних *TreeMap* зберігає пари ключ-значення у вигляді червоно-чорного дерева, в результаті чого дані елементи є відсортованими за значеннями ключа (у випадку строкової інформації – відсортовані дані у лексикографічному порядку) [4].

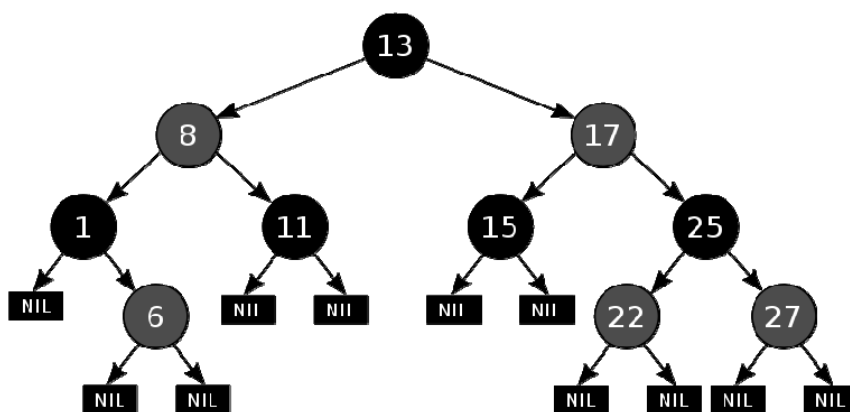


Рис. 5. Структура даних RB-Tree, на якій працює TreeMap

Як працює червоно-чорне дерево можна розібратися за посиланням [3]. На-

ведемо лише основні його характеристики: додавання елемента в дану структуру призводить до відповідних операцій балансування на червоно-чорному дереві, в зв'язку з цим повинно бути задано правило, за яким елемент, що додається, буде порівнюватись з іншими елементами, що вже є в дереві (для строкових даних це лексикографічні правила). Видалення елемента також призводить до відповідних операцій ре-балансирування червоно-чорного дерева. Пошук елемента в даній структурі аналогічний пошуку в звичайному бінарному дереві пошуку.

Таблиця 4.

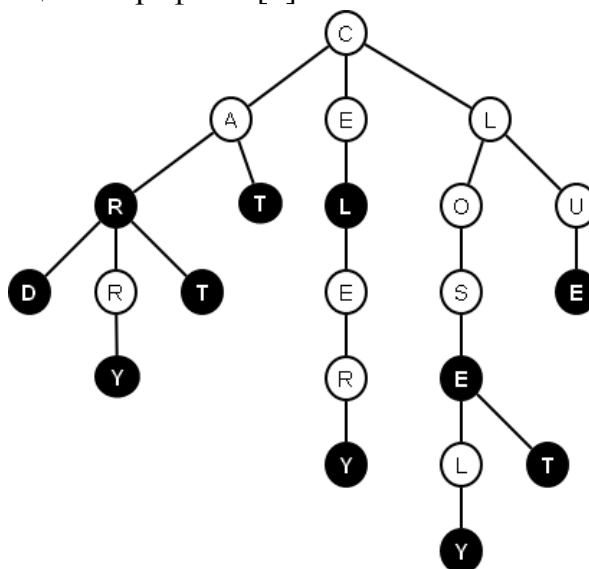
**Результат експерименту з TreeMap**

Кількість елементів (одиниць)	100	1000	10000
Середній час пошуку елемента (наносекунд)	607	962	2132
Об'єм структури (байт)	14448	145123	1445555

Структури *HashSet*[5] та *TreeSet*[6] не розглядаються через те, що вони імплементовані на основі *HashMap* та *TreeMap* і не підходять для цільового використання в кешуванні запитів.

Враховуючи префіксну структуру SQL запитів цікаво розглянути структури *Trie* та *Radix tree*.

*Trie* – префіксне дерево – структура даних, дерево, в якому шлях від кореня до листа визначає рядок. Рядки з однаковими префіксами мають спільний шлях від кореня довжиною цього префікса [7].



**Рис. 6.** Структура даних *Trie*

Префіксне дерево дозволяє зберігати асоціативний масив, ключами якого є

рядки. На відміну від бінарних дерев, в листі дерева не зберігається ключ. Значення ключа можна отримати послідовним переглядом всіх батьківських вузлів, кожний з яких зберігає один або кілька символів алфавіту. Корінь дерева пов'язаний з порожнім рядком. Таким чином, нащадки вузла мають загальний префікс, звідки і пішла назва даного абстрактного типу даних. Значення, пов'язані з ключем, зазвичай не пов'язані з кожним вузлом, а тільки з листами і, можливо, деякими внутрішніми вузлами.

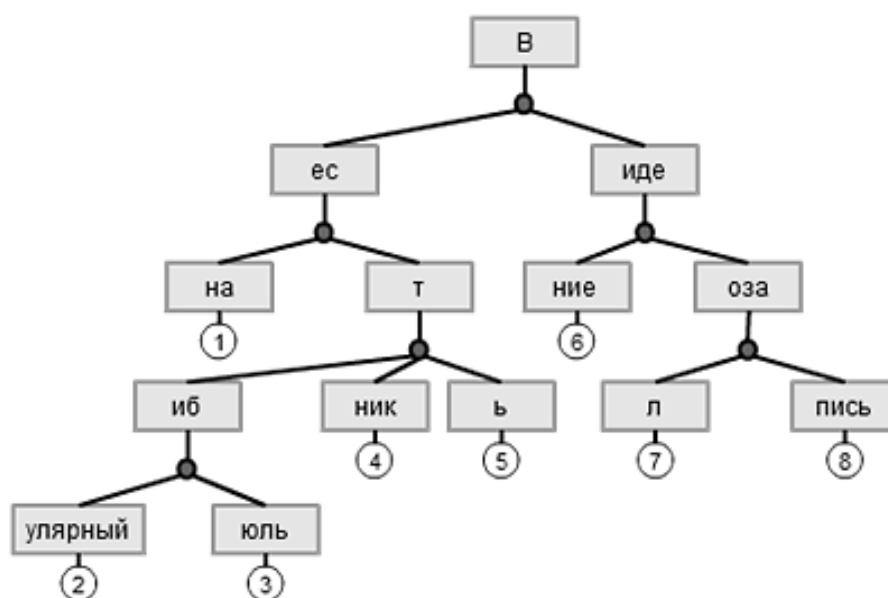
Стандартна реалізація мови програмування Java не має реалізації даної структури, тому вона була імплементована власноруч.

Таблиця 5.

**Результат експерименту з Trie**

Кількість елементів (одиниць)	100	1000	10000
Середній час пошуку елемента (наносекунд)	1689	7600	19002
Об'єм структури (байт)	31648	260256	5685600

*Radix tree* – компактне префіксне дерево – це структура даних, що представляє собою оптимізовану по пам'яті реалізацію префіксного дерева [8].



**Рис. 7.** Структура даних Radix tree

У базисному дереві вузол А, який є єдиним нащадком вузла В, зливається з вузлом В. Складність операцій пошуку, додавання і видалення елемента з базис-

Міжвідомчий науково-технічний збірник «Адаптивні системи автоматичного управління» № 1' (32) 2018

ного дерева оцінюється як  $O(k)$ , де  $k$  - довжина оброблюваного елемента. Час роботи не залежить від кількості елементів в дереві. На відміну від звичайних префіксних дерев, вузол базисного дерева може бути позначений як одним елементом (символом, бітом і т.д.), так і послідовністю елементів. Це робить базисне дерево більш ефективним для наборів рядків (особливо якщо самі рядки досить довгі), і також для наборів, що мають невелику кількість довгих префіксів.

Стандартна реалізація мови програмування Java також не має реалізації даної структури, тому вона була імплементована власноруч.

Таблиця 5.

#### Результат експерименту з Radix tree

Кількість елементів (одиниць)	100	1000	10000
Середній час пошуку елемента (наносекунд)	315	390	450
Об'єм структури (байт)	11685	109256	1105600

#### Висновки

Проаналізувавши результати експериментів можна зробити висновки: як сховище SQL стрічок найкраще використовувати структури даних HashMap, оскільки вона має найбільшу швидкість пошуку елемента й майже найменший розмір сховища та Radix tree, оскільки дана структура має найменший розмір сховища (приблизно на 30% менший за розмір сховища HashMap) й майже найменшу швидкість пошуку елемента (приблизно на 10% повільніша за HashMap).

В результаті роботи було створено простий у використанні кеш запитів що відповідає вищезазначеним вимогам та може мати дві імплементації сховища:

- сховище створене на основі структури даних HashMap;
- сховище створене на основі структури даних Radix tree.

Перше сховище використовується у випадках коли для кінцевого продукту критичний час отримання необхідної інформації, друге сховище - критичний (обмежений) розмір оперативної пам'яті.

#### Список використаних джерел

1. Клейменов Р.С. Проблеми кешування даних при використанні мови програмування Java // Р.С. Клейменов, Т.А. Ліхоузова / Міжвідомчий науково-технічний збірник «Адаптивні системи автоматичного управління» № 2(31), 2017
2. Вирт Н.Е. Алгоритмы и структуры данных : научно-популярная книга / М.: Мир, 1989.— 360 с.
3. Downey A. Think Data Structures : science book // Green Tea Press, 2017 — 211 p.
4. Goodrich M. Data Structures and Algorithms in Java : science book / Michael T.

Goodrich, Roberto Tamassia / 4th edition — Department of Computer Science Brown University, 2015 — 924 p. / p. 521-581

5. <https://docs.oracle.com/javase/7/docs/api/java/util/HashSet.html>

6. <https://docs.oracle.com/javase/7/docs/api/java/util/TreeSet.html>

7. Седжвик Р. Алгоритмы на Java : научно-популярная книга // Р.Седжвик, К.Уэйн / 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Вильямс, 2013.— 843 с.

8. Ахо А. Структуры данных и алгоритмы : научно-популярная книга // Альфред В. Ахо, Джон Э. Хопкрофт, Джеффри Д. Ульман / 1-е изд., перераб. и доп. — М.: Вильямс, 2016.— 620 с.

## **СПОСОБ ДИНАМИЧЕСКОЙ БАЛАНСИРОВКИ НАГРУЗКИ В ПРОГРАММНО-КОНФИГУРИРУЕМЫХ СЕТЯХ**

*Аннотация:* Программно-конфигурируемые сети позволяют значительно расширить функциональность сетевого оборудования. Целью работы является разработка способа динамической балансировки нагрузки в распределённом приложении, которое выполняется на кластере. Балансировка нагрузки выполняется на контроллере SDN. Предложенный способ позволяет рационально использовать ресурсы кластера, а также обеспечивает устойчивость приложения к высоким нагрузкам.

*Ключевые слова:* программно-конфигурируемые сети, SDN-контроллер, балансировка нагрузки, гибридное облако, mininet.

### **Введение**

Современным web-приложениям необходимо выдерживать колебания нагрузки, которые могут быть вызваны изменяющимся количеством пользователей. Для увеличения количества пользователей, которых система может обслуживать в определённый момент времени, необходимо произвести масштабирование. Вертикальное: путём наращивания мощности сервера, или горизонтальное: путём поддержки нескольких экземпляров приложения и балансировкой нагрузки между ними. Средства программно-конфигурируемых сетей позволяют реализовать способ динамической балансировки нагрузки на контроллере SDN.

### **Обзор существующих решений**

В [1] и [2] рассмотрены возможности программно-конфигурируемых сетей в контексте распределения нагрузки на узлы. Однако, не предусмотрена оптимизация использования вычислительных ресурсов в условиях изменяющейся нагрузки. Также, в случае нехватки ресурсов возможна ситуация, в которой приложению не хватит ресурсов для обработки всех запросов, поступающих от пользователей. Это может привести к перебоям в работе или полному выходу сервиса из строя. Предлагаемый способ решает эту проблему путём подключения лишь необходимого количества узлов, и, при необходимости, подключения облачных ресурсов.

### **Постановка задачи**

Для организации эффективной работы распределённого приложения в условиях изменяющейся нагрузки необходимо рационально использовать ресурсы кла-

стера и иметь возможность подключать дополнительные вычислительные мощности, в случае, если ресурсов локального кластера недостаточно. В [3] и [4] рассмотрено применение гибридного облака как резервного ресурса, подключаемого в случае недостатка локальных ресурсов. Возможности программно-конфигурируемых сетей позволяют реализовать способ балансировки нагрузки в распределённом приложении, который обладает следующими преимуществами: подключение дополнительных ресурсов при необходимости и оптимальное использование ресурсов кластера, как следствие - уменьшение затрат на вычислительные ресурсы.

### **Решение поставленной задачи**

Для динамической балансировки нагрузки контроллер программно-конфигурируемой сети должен располагать данными о загрузке системы. Для получения этих данных используется агент мониторинга ресурсов - программное обеспечение, позволяющее контроллеру отслеживать загрузку каждого узла. В агенте настраивается расчёт коэффициента нагрузки в зависимости от задачи: для разных задач более приоритетными являются разные ресурсы. Поскольку в программно-конфигурируемых сетях контроллер оснащён REST-интерфейсом и возможностью подключения плагинов, в роли агента мониторинга ресурсов может выступать простейшее программное обеспечение, разработанное на произвольном языке программирования и поддерживающее тот же интерфейс, что и контроллер.

В данной работе рассматривается кластер, узлы которого находятся в одной физической сети, а узлы задействованные в работе приложения находятся в программно-конфигурируемой сети (SDN). Масштабирование приложения происходит путём расширения SDN. Приложение автоматически определяет новый сервер в SDN и задействует его в обслуживании запросов. Данный способ масштабирования приложения рассматривается в [5].

В случае, если все доступные узлы кластера заняты, в качестве резервного ресурса подключается узел в облаке. Поставщики облачных вычислительных ресурсов располагают интерфейсом для программного конфигурирования серверов, что даёт возможность контроллеру подключать и перенаправлять туда запросы. После снижения нагрузки контроллер отключает облако, запросы обслуживаются только кластером.

Балансировка нагрузки между узлами в локальном кластере происходит за счёт изменения таблицы маршрутизации в контроллере. Создание узлов в облаке осуществляется автоматически через API поставщика облачных ресурсов (Amazon, Azure). Перенаправление запросов в облако с контроллера осуществля-



ется через REST-интерфейс, также можно использовать любую систему обмена сообщениями (RabbitMQ, JMS, Amazon SQS), для которой реализована поддержка языка программирования, на котором реализована логика контроллера.

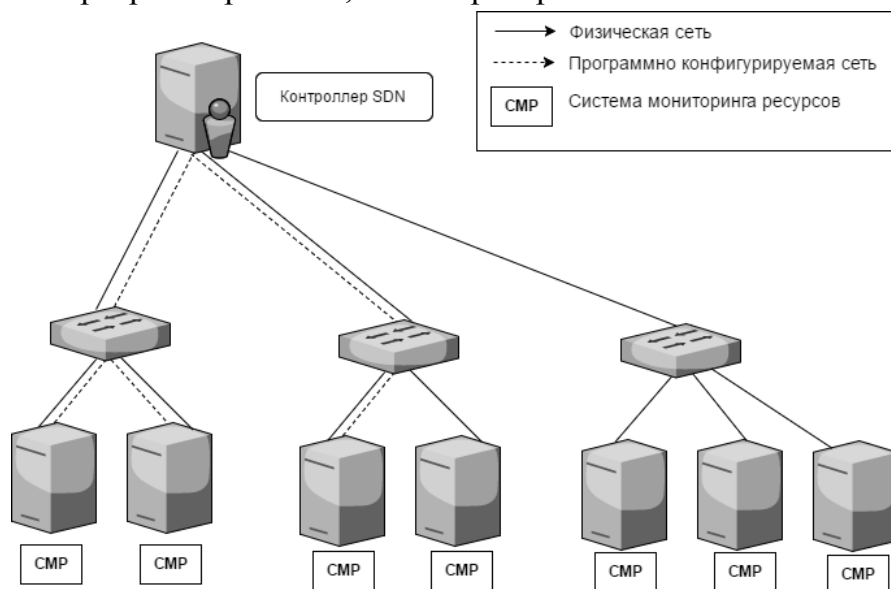


Рис. 1. - Конфигурация кластера для распределённого приложения

Для принятия решения о масштабировании кластера, система должна располагать информацией об использовании ресурсов уже работающих узлов. Критерий оценки зависит от приложения: приложение может использовать много оперативной памяти, но не сохранять файлы на дисковое пространство, либо служить хранилищем данных, где ключевой характеристикой является объём доступного дискового пространства. Разработка сложных критериев загруженности сети может являться темой для отдельного исследования. Для примера примем за критерий количество доступной оперативной памяти.

Построим топологию сети, указанную на рисунке 1 в эмуляторе mininet. Зададим наличие выделенной ОЗУ для приложения на каждом из серверов.

Таблица 1

Объём выделяемой ОЗУ для каждого из узлов кластера

№ узла	1	2	3	4	5	6	7
Объём выделенной ОЗУ, Мб	700	800	1400	500	1500	2300	1200

Для эксперимента возьмём отрезок времени длительностью 1000 секунд. Каждый узел способен обрабатывать данные объёмом до 500 Mb/s, поэтому, контроллер должен предотвратить переполнение ОЗУ каждого из узлов. За ответственный промежуток времени нагрузка на приложение изменяется как показано на рис. 2.

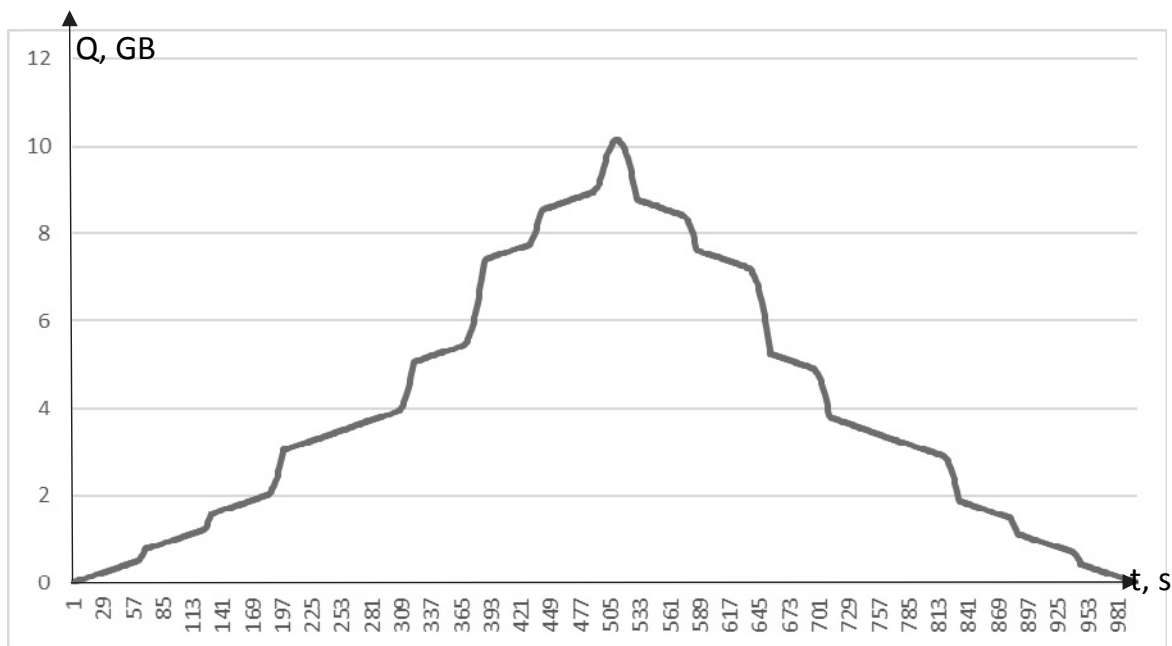


Рис. 2. - График зависимости поступления трафика на приложения от времени

Для каждого узла справедливо условие  $LC_i = k \times C_i$ , где  $C_i$  – ОЗУ на каждом  $i$ -ом узле. LC (Limit Capacity) – граничный объем задействованной ОЗУ, в случае, если меньший объем занят обработкой запросов, подача новых запросов на узел контроллером не производится. Таким образом, после обработки данных, которые уже находятся на узле, сервер может быть отключен от программно-конфигурируемой сети за ненадобностью. Такой подход позволяет рационально использовать ресурсы кластера, не включая лишние узлы, максимально используя уже подключенные.

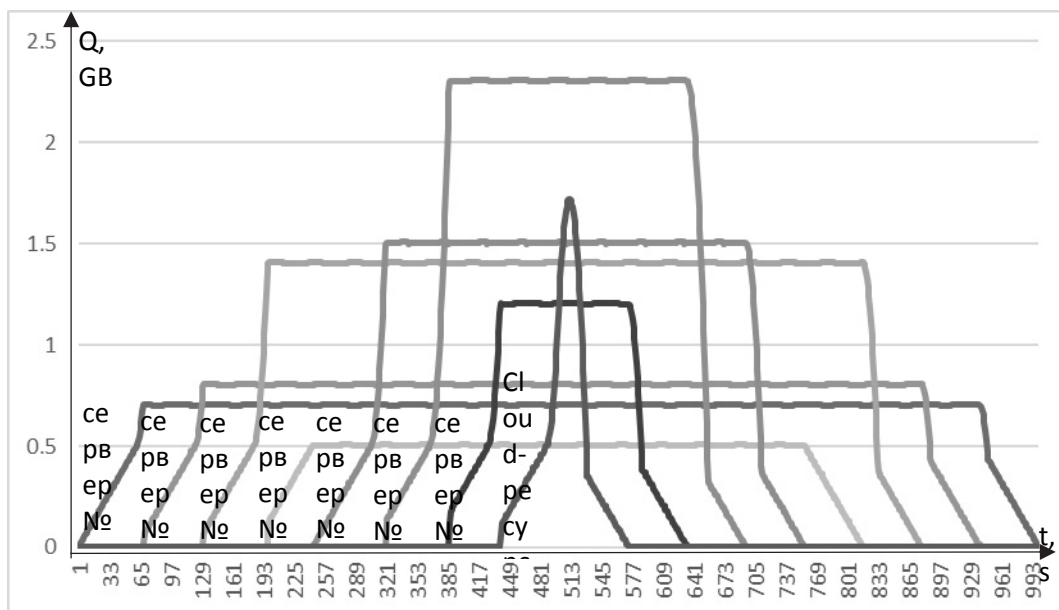


Рис. 3. - График зависимости поступления трафика на каждый из узлов от времени

Контроллер SDN осуществляет запрос на системы мониторинга ресурсов на каждом из задействованных узлов каждую секунду, на основании полученных данных принимает решение о реконфигурации сети.

Как можно увидеть на графике зависимости поступления трафика на каждый из узлов от времени, новые узлы подключаются в тот момент, когда на уже подключенные узлы поступает пиковая нагрузка, которая продолжает расти (см. рис 2). Когда все сервера максимально загружены, подключается ресурс в облаке. В данной эмуляции cloud-ресурс не ограничен, так как для большинства задач возможно подключить столько ресурсов в облаке, сколько необходимо.

### **Выводы и дальнейшая работа**

В данной статье предложен способ балансировки нагрузки в программно-конфигурируемых сетях. Предложенный способ позволяет, не используя стороннее программное обеспечение реализовать балансировку нагрузки средствами SDN. Способ позволяет настраивать характеристики узлов, отдавая приоритет наиболее важным для конкретной задачи. Проведено тестирование способа на эмуляторе mininet. Эмуляция показала, что способ работоспособен и обладает достаточной гибкостью для работы в реальных условиях изменяющейся нагрузки. В качестве дальнейшей работы, возможно усовершенствование способа путём добавления механизма прогнозирования нагрузки.

### **Список использованных источников**

1. Towards an Elastic Distributed SDN Controller / [A. Dixit, H. Fang, M. Sarit та ін.] // ACM SIGCOMM Computer Communication Review. — 2013. — № 43 (4). — С.7-12.
2. Belyaev M. Towards load balancing in SDN-networks during DDoS-attacks / M. Belyaev, S. Gaivoronski // Science and Technology Conference (Modern Networking Technologies) (MoNeTeC). — 2014. — № 1. — С.1-6.
3. Intelligent workload factoring for a hybrid cloud computing model / [H. Zhang, G. Jiang, K. Yoshihira та ін.] // SERVICES '09 Proceedings of the 2009 Congress on Services. — 2009. — № 1. — С.701-708.
4. Van den Bossche R. Cost-Optimal Scheduling in Hybrid IaaS Clouds for Deadline Constrained Workloads / R. Van den Bossche, K. Vanmechelen, J. Broeckhove // 2010 IEEE 3rd International Conference on Cloud Computing. — 2010. — № 3. — С.228-235.
5. Кулаков Ю. А. Способ масштабирования распределённых приложений в программно-конфигурируемых сетях с использованием гибридного облака / Ю.А. Кулаков, Е.Ю. Лопушен // Міжнародний науковий журнал "Науковий огляд". — 2017. — № 8 (40). — С.46-56.

УДК 621.3.011.74.005

В. В. Михайленко, І. В. Майкович, Т. А. Наухацька

## МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДВНАДЦЯТИПУЛЬСНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА З ШЕСТИЗОННИМ РЕГУЛЮВАННЯМ НАПРУГИ

*Анотація:* У статті проведено аналіз електромагнітних процесів в електричних колах з напівпровідниковими комутаторами. Створено математичну модель дванадцятипульсного напівпровідникового перетворювача з шестизонним регулюванням вихідної напруги для аналізу електромагнітних процесів у напівпровідникових перетворювачах з широтно-імпульсним регулюванням. Наведено графіки, що відображають електромагнітні процеси у електричних колах.

*Ключові слова:* напівпровідниковий перетворювач, шестизонне регулювання напруги, електромагнітні процеси.

### Вступ

Завдяки широкому використанню напівпровідникових перетворювачів у електричних колах сучасних перетворювачів параметрів електроенергії значно ускладнюються задачі аналізу електромагнітних процесів. Найбільші ускладнення виникають при необхідності моделювання усталених і перехідних процесів у розгалужених колах змінної структури, в ланках з реактивними елементами якої виникають синусоїдні, постійні та імпульсні напруги. У роботах [1-4] показана доцільність використання структур напівпровідникових перетворювачів (НПП) з однократною модуляцією при побудові систем вторинного електропостачання для комплексів діагностики електромеханічних пристроїв із різноманітним видом вхідної енергії. У даній роботі проводиться аналіз аспекту використання тієї ж структури НПП в якості ланки високої частоти, що стосується побудови й аналізу перетворювачів для електромеханічних комплексів із широтно-імпульсним регулюванням (ШІР) постійної напруги при шестизонному керуванні.

**Метою роботи** є створення математичної моделі дванадцятипульсного напівпровідникового перетворювача з шестизонним регулюванням вихідної напруги.

#### *Аналіз електромагнітних процесів*

У даній роботі використано метод багатопараметричних модулюючих функцій [2], який передбачає попереднє представлення алгоритмічного рівняння перетворювача. При цьому прийнято такі припущення: вхідна енергетична мережа симетрична і її внутрішній опір дорівнює нулю, транзистори і діоди інвертора випрямленої напруги (ІВН) представляються ідеальними ключами, узгоджувальні трансформатори в кожній з зон регулювання вихідної напруги не мають втрат, а навантаження перетворювача має еквівалентний активно-індуктивний характер.

Структурна схема НПП показана на рисунку 1. На структурній схемі позначено: СМ1 і СМ2 – блоки силових модуляторів фазних і лінійних напруг відповідно; ВВ1 і ВВ2 – високочастотні випрямлячі фазних і лінійних напруг; СК – система керування і Н – навантаження, яке має активно-індуктивний характер. Кожний з блоків СМ має у своєму складі випрямлячі та інвертори, навантажених на узгоджувальні трансформатори.

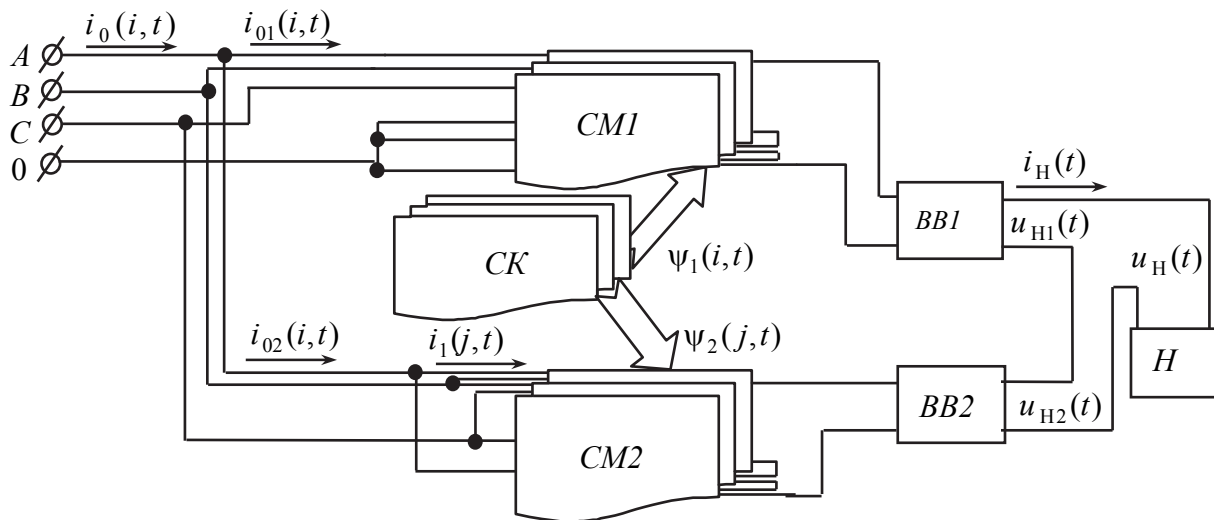


Рис. 1. Структурна схема перетворювача

Таким чином кожен СМ має в своєму складі  $N$  ІВН, де  $N$  – це число інверторів. Створення математичної моделі перетворювача передбачає розробку математичного забезпечення, спроможного провести аналіз відносно енергії, яка генерується, з урахуванням навантаження, енергії, яка споживається, а також енергії, яка перетворюється в окремих ланках і в окремими елементами.

Алгоритмічне рівняння перетворювача записано у публікації [2]:

$$u_H(t) = \frac{1}{k_T} \left( \sum_{n=1}^{N=3} \sum_{i=1}^3 u_{11}(i,t) \phi_1(i,t) \psi_1(i,t) v_1(t) + \sum_{n=1}^{N=3} \sum_{j=1}^3 u_{12}(j,t) \phi_2(j,t) \psi_2(j,t) v_2(t) \right), \quad (1)$$

де:  $i = 1, 2, 3$  і  $j = 1, 2, 3$  – номери фазних і лінійних напруг енергетичної мережі відповідно;  $k_T$  – коефіцієнт трансформації трансформаторів;  $\psi_{B1}(i,t)$  і  $\psi_{B2}(j,t)$  – модулюючі функції, які співпадають за часом з фазними і лінійними напругами;  $u_{11}(i,t)$  і  $u_{12}(j,t)$  – миттєві значення лінійних напруг;  $v_1(t)$  і  $v_2(t)$  – еквівалентні модулюючі впливи ВВ1 і ВВ2.;  $n = 1, 2, 3, \dots, N = 3$  – номери зон регулювання вихідної напруги;  $N = 3$  – кількість ІВН в кожному СМ;

$\psi_{B1}(i,t) = \text{sign} \left[ \sin \left( \omega_1 t - \varphi - \frac{(i-1)2\pi}{3} \right) \right]$  – модулюючі функції, які співпадають за

часом з положенням відповідних фазних напруг мережі живлення;

$$\psi_{B2}(j,t) = \text{sign} \left[ \sin \left( \omega_1 t - \varphi + \frac{\pi}{6} - \frac{(j-1)2\pi}{3} \right) \right] - \text{модулюючі функції, які співпадають}$$

за часом з положенням відповідних лінійних напруг мережі живлення;

$$u_{01}(i,t) = E_m \sin \left( \omega_1 t - \varphi - \frac{(i-1)2\pi}{3} \right) - \text{миттєві значення вхідних фазних напруг}$$

$$\text{мережі живлення, } u_{02}(j,t) = E_m \sin \left( \omega_1 t - \varphi + \frac{\pi}{6} - \frac{(j-1)2\pi}{3} \right) - \text{миттєві значення}$$

вхідних фазних напруг мережі живлення,  $E_m$  – амплітудне значення фазної напруги;  $\omega_1 = 2\pi f_1$  і  $\varphi$  – відповідно кругова частота і початкова фаза напруги живлення;  $\psi_1(i,t)$  – множина еквівалентних модулюючих впливів  $j$ -х СМ,  $\psi_2(j,t)$  – множина еквівалентних модулюючих впливів  $j$ -х СМ.

Струм на навантаженні перетворювача знайдемо, як реакцію одноконтурного RL-ланцюга на дію напруги  $u_H(t)$

$$i_H(t)R + L \frac{di_H(t)}{dt} = u_H(t), \quad (2)$$

де:  $R$  і  $L$  – відповідно активний опір і індуктивність навантаження.

Рішення (2) відносно струму навантаження визначимо числовим методом за допомогою функції `odesolve` математичного процесора MATHCAD

$$i_H(t) = \text{odesolve}(t, k, p), \quad (3)$$

де:  $t$  – час;  $k$  – часовий інтервал;  $p$  – кількість точок на часовому інтервалі.

Діаграми струму навантаження в координатах вихідної напруги перетворювача, побудовані за (3) для шестизонного регулювання представлені на рисунку 2.

Фазні струми  $i_{01}(i,t)$  знаходимо з виразу

$$i_{01}(i,t) = \frac{\sum_{n=1}^{N=3} i_H(t) \psi_{B1}(i,t) \psi_1(i,t) v_1(t)}{k_T}. \quad (4)$$

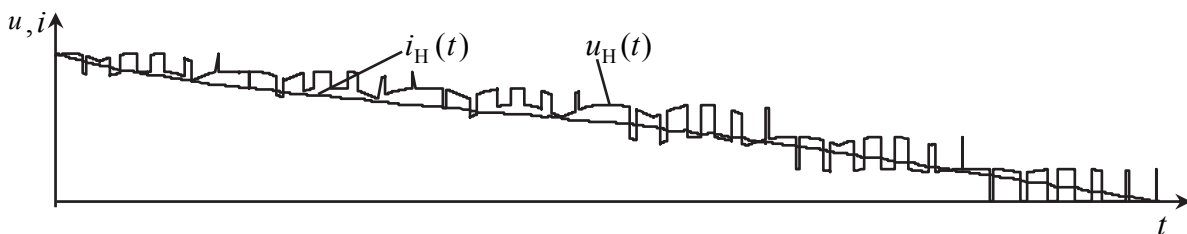


Рис. 2. Діаграми струму та напруги навантаження

Лінійні струми  $i_{12}(j,t)$  знаходимо з виразу виду

$$i_{12}(j,t) = \frac{\sum_{n=1}^{N=3} i_H(t) \psi_{\hat{\lambda}_2}(j,t) \psi_2(j,t) v_2(t)}{k_T}. \quad (5)$$

Фазні струми  $i_{02}(i,t)$  знаходимо з співвідношень

$$i_{02}(1,t) = i_{12}(1,t) - i_{12}(3,t); \quad i_{02}(2,t) = i_{12}(2,t) - i_{12}(1,t); \quad i_{02}(3,t) = i_{12}(3,t) - i_{12}(2,t). \quad (6)$$

Вхідні фазні струми енергетичної мережі у кожній  $i$ -й фазі знаходимо з виразу:

$$i_0(i,t) = i_{01}(i,t) + i_{02}(i,t). \quad (7)$$

Діаграми вхідних фазних струмів перетворювача в координатах напруг енергетичної мережі, побудовані за (7), представлені на рисунку 3.

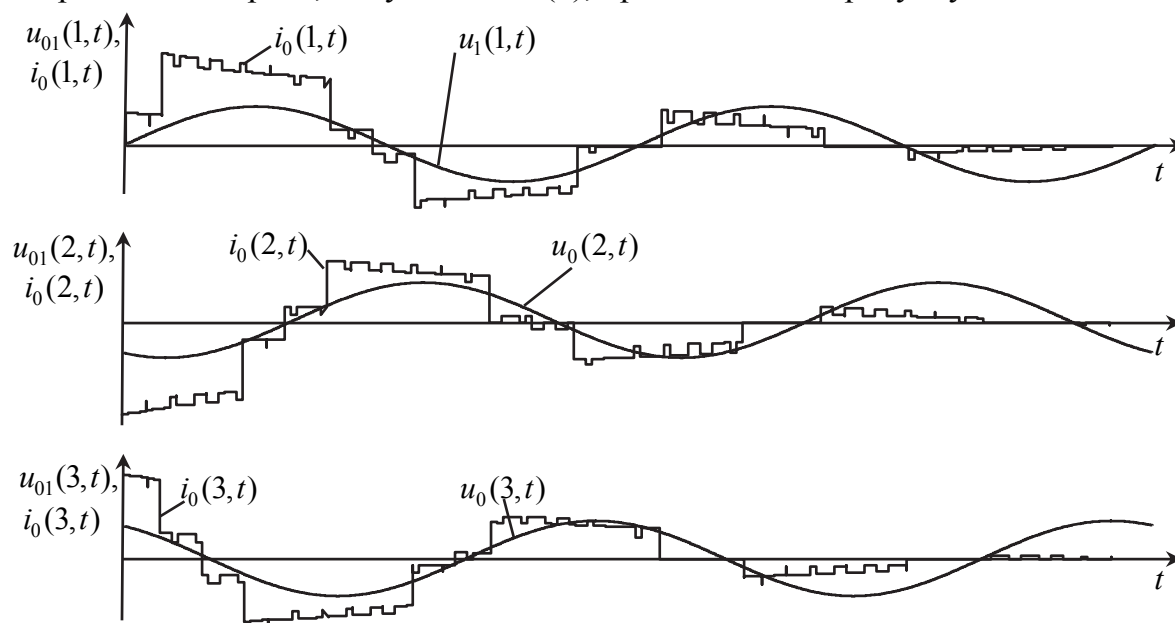


Рис. 3. Діаграми вхідних струмів  $i$ -х фаз мережі в координатах фазних напруг

### Висновки

У данні роботі було виконано аналіз електромагнітних процесів в електричних колах з напівпровідниковими перетворювачами. Використовуючи метод багатопараметричних модулюючих функцій було знайдено струм і напругу навантаження, а також вхідні струми перетворювача. У роботі розвинуто метод багатопараметричних функцій в частині розробки нової математичної моделі з багатозонним регулюванням вихідної напруги та визначення модулюючих функцій для аналізу за підсистемними складовими структури електричних кіл з напівпровідниковими комутаторами.

Також формалізовано можна визначати алгоритми управління комутаторами в колах силових модуляторів фазних і лінійних напруг трифазної мережі

електроживлення, що спрощує підвищення якості знакопостійних напруг у процесі формування та багатозонного регулювання вихідних синусоїдних і знакопостійних напруг. Використання багатопараметричних модулюючих функцій в математичних моделях електромагнітних процесів у електричних колах з напівпровідниковими комутаторами дозволяє формалізовано визначати струми в колах інверторів та інших напівпровідникових ланок кожного із силових модулів випрямлених напруг.

### Список використаних джерел

1. Макаренко М.П. Математична модель перетворювача трифазної напруги в постійну напругу / М.П. Макаренко, В.В. Михайленко // Електроніка и связь. – 2002. – № 14. – С. 73–75.
2. Патент 20985. України. МПК H02M 1/02. Модулятор випрямленої напруги / М. П. Макаренко, В. В. Михайленко, Заявник та власник патенту НТУУ “КПІ” – Завл. 18.09.2006, опубл. 15.02.2007. Бюл. № 2.
3. Макаренко М. П. Системний аналіз електромагнітних процесів у напівпровідникових перетворювачах електроенергії модуляційного типу / М. П. Макаренко, В. І. Сенько, М. М. Юрченко – К. : НАН України, ІЕД, 2005. – 241 с.
4. Макаренко Н. П. Анализ электромагнитных процессов в двенадцатипульсном преобразователе с зонным регулированием выходного напряжения / Н. П. Макаренко, В. В. Михайленко, Н. Н. Юрченко // Вестник НТУ "Харьковский политехнический институт". "Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика". – 2002. – Т. 1. – С. 233–234.



## **МЕТОД ВИЗУАЛЬНОГО МУЛЬТИТРЕКИНГА В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ НА ОСНОВЕ КОРРЕЛЯЦИОННЫХ ФИЛЬТРОВ**

*Аннотация.* В статье предложен подход к отслеживанию множества объектов, применяющий трекинг на основе детектирования с использованием корреляционных фильтров для отслеживания цели между ключевыми кадрами. Это позволяет повысить надежность трекинга объектов, движущихся нелинейно, сохранив при этом скорость работы, достаточную для обработки видео в реальном времени.

*Ключевые слова.* Компьютерное зрение, визуальный трекинг, корреляционный фильтр, мультитрекинг, трекинг на основе детектирования.

### **Вступление**

Задача отслеживания множества объектов на видеов реальном времени является неотъемлемой частью многих прикладных областей компьютерного зрения, таких как построение систем видеонаблюдения, отслеживания дорожного трафика. Особый интерес данная задача представляет для систем способных активно взаимодействовать с окружающим миром, в частности для анализа сцены самоуправляемым автомобилем, беспилотным летательным аппаратом, промышленным или бытовым роботом. Данные системы имеют более высокие требования к скорости и точности работы алгоритма отслеживания. Также, поскольку автономные робототехнические агенты имеют более ограниченные вычислительные ресурсы, по сравнению со стационарными системами, для них очень важно уменьшение ресурсозатратности системы отслеживания.

По сравнению с задачей отслеживания одного объекта, при отслеживании множества объектов возрастает объем вычислений необходимых для сопровождения цели, также появляется необходимость определения количества объектов, которое обычно изменяется с течением времени, и поддержания их идентичности.

### **Постановка задачи мультитрекингов реальном времени**

Задана последовательность кадров, получаемая в реальном времени с помощью цветной монокамеры и класс отслеживаемых объектов. Необходимо для каждого объекта, построить его траекторию на протяжении всего видеоряда. То есть, необходимо обнаружить появление новых объектов в кадре, локализовать обнаруженные объекты на последующих кадрах, а также обнаружить исчезновение объектов из кадра.

## **Анализ существующих методов мультитрекинга**

Задача мультитрекинга изучается уже долгое время, за которое было предложено множество подходов, такие как применение марковских моделей [1], байесовских сетей [2], трекары на основе нейронных сетей [3], и трекары на основе детектирования [4].

В последнее время в связи с ускорением работы детекторов на основе нейронных сетей [5] [6] трекинг на основе детектирования (TBD - Tracking By Detection) набрал большую популярность. Большая часть современных мультитрекаров в той или иной мере использует этот подход [7].

Трекинг на основе детектирования заключается в том, что на каждом кадре объекты обнаруживаются детектором, а затем связываются в траектории.

Для того что бы связать объекты на двух соседних кадрах, сначала для объектов с предыдущего кадра предсказываются на текущем кадре. Затем предсказанные объекты сопоставляются с объектами, которые обнаружил детектор при помощи признаков схожести (пространственных или визуальных). Траектории обновляются с координатами соответствующих сопоставленных объектов обнаруженных, детектором. Для не сопоставленных объектов инициализируются новые траектории.

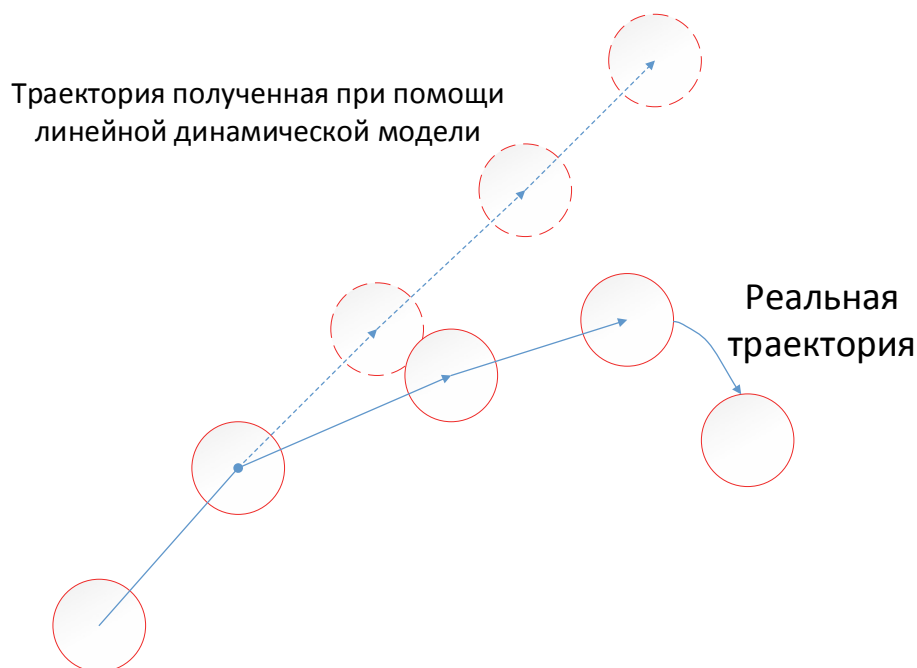
Использование TBD позволяет автоматически обнаруживать появление новых целей в кадре и исчезновение старых, а также позволяет корректировать параметры модели за счет исправления ошибки между состоянием, полученным с детектора и предсказанным состоянием.

### ***Прогнозирование положения объекта на основе его динамической модели***

Наиболее распространённым методом для прогнозирования положения цели на следующем кадре является применение динамической модели объекта. Динамическая модель предсказывает траекторию движения объекта в кадре путём аппроксимации уравнения динамики. Как правило, используется линейная динамическая модель, которая описывает движение тела с постоянной скоростью, либо с постоянным ускорением.

В большинстве подходов для коррекции параметров уравнения динамики применяется фильтр Калмана [8] [9]. Трекер поочередно прогнозирует новое положение объекта, и корректирует параметры модели для минимизации ошибки между предсказанной позицией и позицией, полученной от детектора. Основной причиной применения динамической модели является её низкая вычислительная сложность, что очень важно для достижения необходимой скорости работы алгоритма, поскольку количество вычислений пропорционально увеличивается с количеством отслеживаемых объектов.

Однако у данного подхода есть существенные недостатки. При использовании трекинга на основе детектирования предполагается, что каждый кадр будет обработан детектором и, соответственно, на каждом кадре будет корректироваться динамическая модель. Однако, в большинстве систем скорости работы детектора недостаточно для этого. Поэтому между кадрами, на которых срабатывает детектор (ключевыми кадрами) траектория объекта обновляется только при помощи нескорректированной модели, что значительно снижает точность и надежность трекинга. К тому же, из-за того, что фильтр Каллмана плохо справляется с нелинейным движением [10], если цель между ключевыми кадрами изменит скорость или направление движения, ошибка между предсказанным и реальным положением будет слишком большой и из-за чего объект будет потерян (рис. 1). Поэтому, этот подход не применим к маневренным объектам, которые могут резко изменить скорость или направление движения таким как пешеход или автомобиль.



**Рис. 1.** – Потеря объекта, движущегося нелинейно, при трекинге с помощью линейной динамической модели

Данную проблему можно решить путем замены фильтра Каллмана на трекер, использующий визуальные признаки, для построения траектории между ключевыми кадрами.

К сожалению, скорость большинства современных методов визуального трекинга таких как метод скользящего среднего [11], нейронные сети [12], бустинг [13]

недостаточна для супроводження множини об'єктів в реальному часі. Однак сімейство трекерів, ґрунтованих на кореляційних фільтрах спроможні супроводжувати об'єкт з високою точністю на швидкості більше 250 FPS і на даний момент являються найбільш ефективними [14].

### Мультитрекинг на основі кореляційних фільтрів

Для рішення задачі мультитрекинга пропонується використовувати модифікацію підходу трекинга на основі детектування, в якій для побудови траєкторії кожного об'єкта між ключовими кадрами використовуються незалежні трекери на основі кореляційних фільтрів.

В даній системі можна виділити три основні операції: виявлення, матчінг, трекинг.

На ключовому кадрі детектор визначає координати виявлених об'єктів. Після цього виявлені об'єкти сопоставляються з об'єктами, які відслідковуються на даний момент (рис. 2).

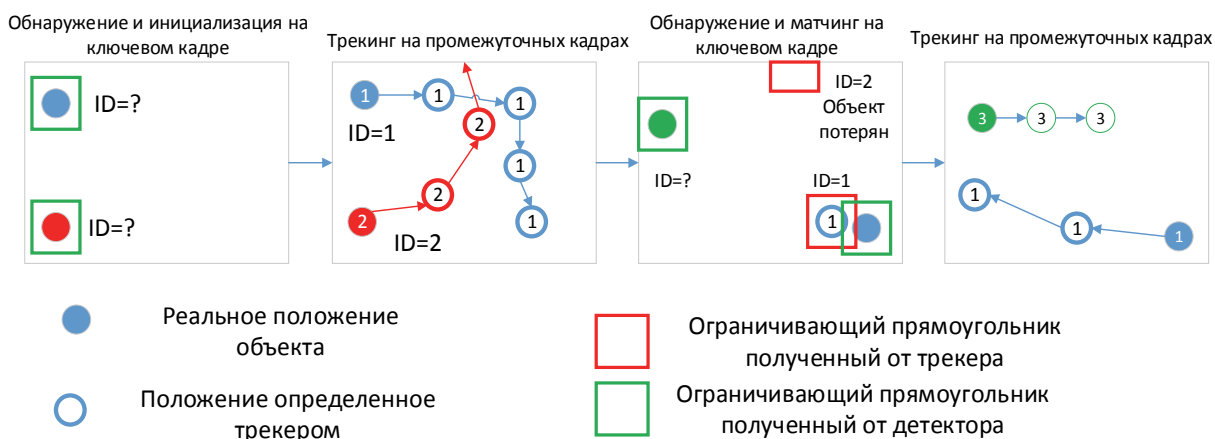


Рис. 2. – Пример работы системы мультитрекинга

- Если два объекта сопоставлены, трекер обновляет свою модель используя позицию и визуальные признаки соответствующего объекта, обнаруженного детектором.
- Если отслеживаемый объект не был сопоставлен, он считается потерянным.
- Если обнаруженный детектором объект не был сопоставлен, считается, что в кадре появился, новый объект для которого создается новый трекер с новым уникальным идентификатором.

После матчинга до следующего ключевого кадра цели отслеживаются с помощью корреляционных трекеров.

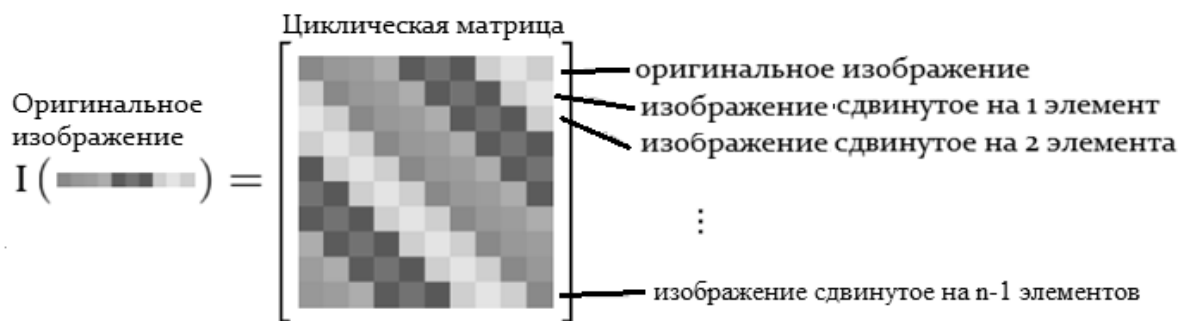


Рис. 3. - Матрица, образованная циклическим сдвигом одномерного изображения

### Принцип работы корреляционного трекера

Основная идея корреляционного трекинга заключается в обучении корреляционного фильтра с помощью которого можно на кадре отделить цель от заднего фона. Параметры корреляционного фильтра  $H$  подбираются таким образом, чтобы его свёртка с изображением представляла собой распределение Гаусса с пиком в центре отслеживаемого объекта. Для обучения такого фильтра используется обучающая выборка, на которой минимизируется ошибка между реальным результатом свёртки и ожидаемым (Гауссианой), при помощи метода наименьших квадратов [15] по формуле (1).

$$H = \arg \min \sum_{i=0}^n (F_i \odot H - G_i)^2 \# \quad (1)$$

Вобщем случае для обучения фильтра по формуле (1) приходится решать систему уравнений, что значительно затрудняет обработку кадров в реальном времени.

В работе Энрикеза[16] было предложено эффективное с точки зрения сложности вычислений решение этой задачи, основанное на свойствах циклических матриц. Для этого предлагается генерировать обучающую выборку с помощью циклического сдвига изображения (рис. 3). Матрица, которая образована циклическим сдвигом изображения содержит позитивный пример для обучения в первой строке и набор негативных примеров в остальных строках. Более того, циклическая матрица в пространстве Фурье образует диагональную матрицу, а использование диагональной матрицы позволяет применять поэлементные операции вместо матричных, что снижает сложность вычислений с  $O(n^2)$  до  $O(n \log(n))$ , благодаря чему значительно повышается скорость работы трекера.

Исходя из этих соображений в работе [17] был разработан быстрый алгоритм корреляционного трекинга. В основе алгоритма лежат три функции. Функция корреляции ядра (2) – вспомогательная функция, которая используется двумя другими функциями.

$$k(x, x') = \exp\left(-\frac{1}{\sigma^2} (\|x^2\| + \|x'^2\| - 2 \text{FFT}(\widehat{x}^* \odot \widehat{x}'))\right) \# \quad (2)$$

Функция для нахождения оптимальных параметров корреляционного фильтра:

$$H = \frac{G}{k(x, x) + \lambda}, \# \quad (3)$$

где:  $G$  – 2D распределение гаусса,  $\lambda$  – параметры регуляризации.

Функция для определения положения цели на кадре (4). Результатом данной функции является матрица корреляции между визуальными признаками цели признаками области поиска, при всех возможных сдвигах.

$$f(x, z) = k(x, z) \odot \alpha, \# \quad (4)$$

где:  $\alpha$  – корреляционный фильтр,  $z$  – сохранённый образец визуальных признаков цели,  $x$  – признаки, извлеченные из области поиска.

Операции в функциях (3), (4) производятся в пространстве Фурье, поэтому для получения окончательного результата из функций (3) и (4) необходимо произвести обратное преобразование Фурье (IFFT). К тому же производится свёртка вектора визуальных признаков с оконной функцией Хеннинга (5), для того чтобы произвести оконное преобразование Фурье (FFT).

$$w(n) = \left(1 - \cos\left(\frac{2\pi n}{N-1}\right)\right) \# \quad (5)$$

Рассмотрим алгоритм сопровождения объекта при помощи адаптивного корреляционного трекера. Сначала из изображения извлекаются визуальные признаки, которые используются для обучения корреляционного фильтра. Далее на последующих кадрах поочередно происходит процесс локализации цели и обновления визуальной модели с помощью изображения, полученного в новой позиции (рис. 4).

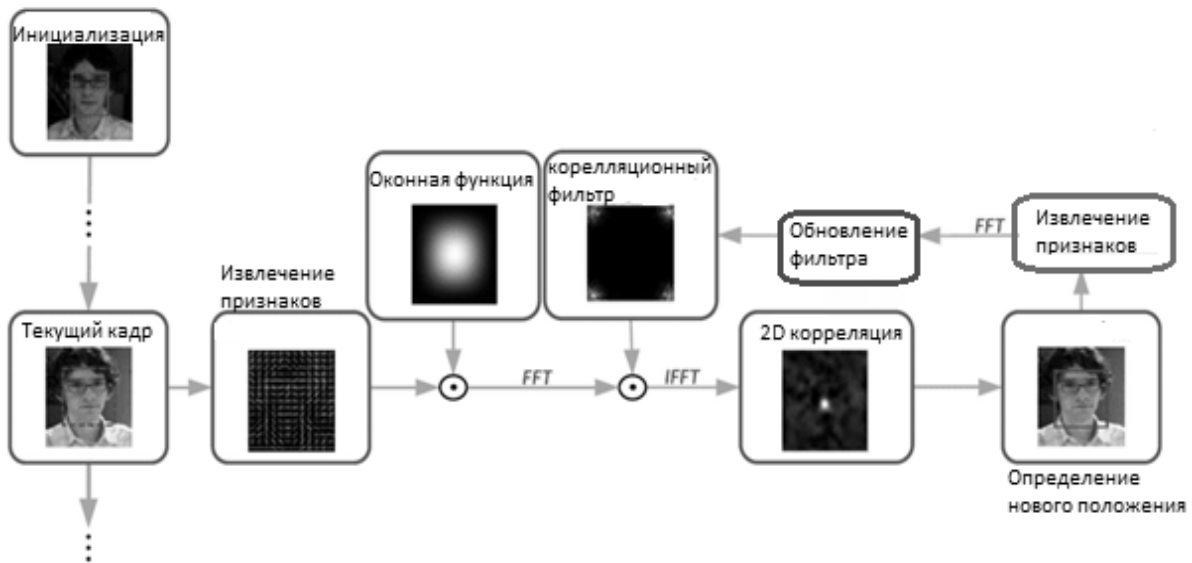


Рис. 4. – Схема работы корреляционного трекера

### **Инициализация трекера**

Входными данными для инициализации являются кадр видео  $I_t$  и ограничивающий прямоугольник  $B$ , который определяет расположение цели на кадре  $P$  и её размер  $S$ .

В системе применяется подход, который позволяет определить не только перемещение объекта, но и изменение его масштаба [18]. На выделенном регионе рассчитывается вектор признаков и инициализируются две модели: трансляционная и масштабирующая. Трансляционная модель применяется для определения перемещения объекта, масштабирующая – для определения изменения размера.

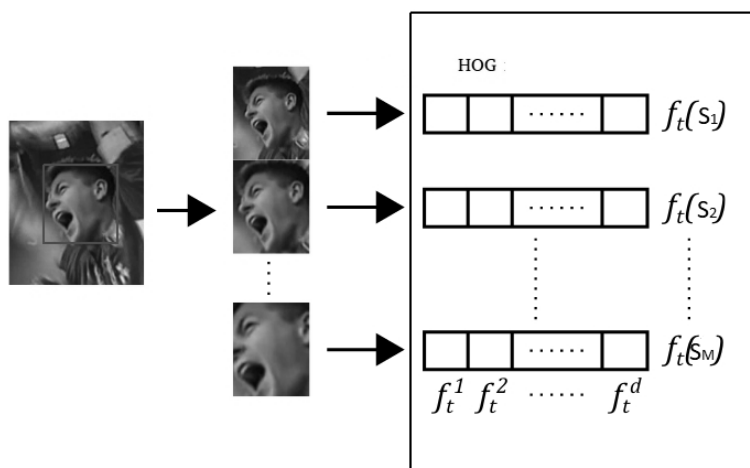
Трансляционная модель состоит из вектора визуальных признаков  $Z_t$  и корреляционного фильтра  $H$ . Вектор признаков представляет собой гистограмму ориентированных градиентов (HOG), а  $H$  рассчитывается с помощью уравнения (3).

Масштабирующая модель представляет собой массив  $M$  из  $N_s$  масштабирующих коэффициентов, которые рассчитываются по формуле (6) и матрицы масштабированных визуальных признаков.

$$M = \alpha^n, \# \tag{6}$$

где:  $\alpha$  – шаг масштабирования, а  $n \in \left\{ -\frac{N_s - 1}{2}, \dots, \frac{N_s - 1}{2} \right\}$

Матрица масштабированных визуальных признаков представляет собой  $N_s$  гистограмм, которые получаются путём расчета HOG для разных масштабов изображения (рис. 5), полученных и последующего расчета HOG для каждого масштаба изображения. Номер строки в матрице определяет масштаб изображения, при котором были извлечены признаки.



**Рис. 5.** – Извлечение визуальных признаков для масштабирующей модели

**Определение изменения позиции**

Определение позиции происходит в окрестности около предыдущего расположения цели. Окрестность поиска получается путем увеличения размера текущего ограничивающего прямоугольника  $B$ . Для нахождения цели рассчитываются НОГ признаки  $X_t$  в области поиска. Затем по формуле (4) рассчитывается корреляционная матрица  $R$ . В матрице по формуле (7) определяется точка с максимальным значением корреляции  $P_{max} = \{x, y\}$ , координаты которой соответствуют смещению центра цели относительно предыдущего кадра. Новые координаты цели определяются по формуле (8).

$$P_{max} = \arg \max R(P) \# \quad (7)$$

$$P_t = P_{t-1} + P_{max} \# \quad (8)$$

**Определение изменения размера**

Для определения изменения размера в новой позиции цели рассчитывается матрица масштабированных визуальных признаков. Затем по формуле (4) находится её корреляция с матрицей, сохранённой в масштабной модели. Аналогично, по формуле (7) определяется точка с максимальным значением корреляции. Координата  $x$  этой точки, соответствует индексу в массиве масштабирующих коэффициентов  $M$ , а значение расположенного по этому индексу масштабирующего коэффициента, определяет отношение размера цели на текущем кадре, к размеру цели на предыдущем кадре.

**Обучение модели**

Поскольку со временем визуальное представление цели изменяется, необходимо постоянно обновлять прогнозирующие модели.

После получения новой позиции и размера цели, снова извлекаются признаки, которые используются для обновления трансляционной и масштабной модели.

Обновленная модель является взвешенной суммой текущей модели и модели, рассчитанной на новом кадре (9).

$$F_{t+1} = (1 - \eta)F_t + \eta F_u \# \quad (9)$$

где:  $F_{t+1}$  – обновленный вектор признаков,  $F_t$  – старый вектор признаков,  $F_u$  – признаки, извлеченные на новом кадре, а  $\eta$  – коэффициент обучения.

В трансляционной модели обучается вектор визуальных признаков и корреляционный фильтр. В масштабирующей модели индивидуально обновляется каждый вектор признаков из массива.

**Обнаружение потери**

При извлечении визуальных признаков объекта для обновления визуальной модели, также извлекаются признаки из заднего фона, попавшего в ограничительную рамку объекта. Влияние заднего фона может привести к постепенному смещению трекера относительно цели и в итоге к потере отслеживаемого объекта.

Для оценки качества корреляционной матрицы  $R$  применяется метрика Peak



to Sidelobe Ratio (PSR), которая рассчитывается по формуле (10). Для этого корреляционная матрица разбивается на две области – центральный и боковой лепесток. К центральной области относят область 11x11 вокруг пика, к боковой – всё остальное. Если значение PSR меньше порогового, то считается что положение определено неточно и обновление визуальной модели не производится.

$$PSR = \frac{R_{max} - \mu}{\sigma}, \# \quad (10)$$

где:  $\mu$  – среднее значение бокового лепестка, а  $\sigma$  – СКО бокового лепестка.

### **Матчинг**

Для корректного построения траектории необходимо определить какие из объектов, обнаруженных детектором уже отслеживаются. Для нахождения этого необходимо сопоставить друг с другом объекты, обнаруженные детектором и отслеживаемые трекером. Для решения этой задачи составляется матрица, в которой попарно оценивается схожесть, а затем объекты сопоставляются с помощью Венгерского алгоритма.

Для сравнения двух объектов используется комбинированный критерий, который учитывает, как пространственные, так и визуальные критерии схожести.

В качестве пространственного критерия схожести используется отношение площадей пересечения к объединению (Intersection Over Union) ограничительных рамок объектов, которое учитывает, как и расположение так и размер объектов и находится по формуле (11).

$$IOU = \frac{S_i}{S_u} \# \quad (11)$$

В качестве критерия визуальной схожести используется корреляция цветовых гистограмм, которое рассчитывается по формуле(12).

$$d(H_1, H_2) = \frac{\sum(H_1(I) - \bar{H}_1)(H_2(I) - \bar{H}_2)}{\sqrt{\sum(H_1(I) - \bar{H}_1)^2 \sum(H_2(I) - \bar{H}_2)^2}}, \# \quad (12)$$

где:  $\bar{H} = \frac{1}{N} \sum_j H(j)$ , а  $N$  – количество корзин в гистограмме.

Итоговая функция схожести имеет вид (13):

$$C = IOU \cdot dH \# \quad (13)$$

### **Выводы**

В работе предложен подход к решению задачи мультитрекинга, который позволяет повысить точность и надёжность трекинга объектов, движущихся нелинейно. Это достигается за счёт использования визуальных признаков для отслеживания цели, вместо применения динамической модели. Использование трекинга на основе корреляционных фильтров, позволило достичь производительности, достаточной для сопровождения множества целей в реальном времени.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Kratz L., Nishino K. Tracking with local spatio-temporal motion patterns in extremely crowded scenes // IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2010. С.693-700.
2. Nillius P., Sullivan J., Carlsson. S. Multi-target tracking linking identities using baesian network inference // IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2006. С.2187-2194.
3. Target identity-aware network flow for online multiple target tracking / A. Dehghan и др. // IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2015. С.1146-1154.
4. Bochinski E., Eiselein V., Sikora T. High-Speed tracking-by-detection without using image information // IEEE International Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance.2017.С.1-6.
5. MobileNets: Efficient Convolutional Neural Networks for Mobile Vision Applications / A. Howardи др. // URL: <https://arxiv.org/pdf/1704.04861.pdf>
6. Faster R-CNN: Towards real-time object detection with region proposal networks / S. Ренидр. // Advances in neural information processing systems. 2015.С.91–99.
7. Multiple Object Tracking: A Literature Review /Luo W. и др.// URL: <https://arxiv.org/pdf/1409.7618.pdf>
8. Reid D. An algorithm for tracking multiple targets // IEEE Transactions on Automatic Control. 1980. С. 843-854.
9. Simple online and realtime tracking / A. Bewleyи др.// IEEE International Conference. on Image Procesing. 2016.С.3464–3468.
10. Survey of Video Object Tracking./ M. Li и др. // International Journal of Control and Automation. 2015. С.303-312.
11. Vojir T., Noskova J.,Matas J. Robust scale-adaptive mean-shift for tracking. // Pattern Recognition Letters. 2014.С.250-258.
12. Nam, H., Han, B. Learning multi-domain convolutional neural networks for visual tracking //URL: <https://arxiv.org/pdf/1510.07945.pdf>
13. Kalal Z., Mikolajczyk K., Matas J. Tracking learning detection // URL: <http://www.tldvision.com/pdf/2011-Kalal-PhD-Thesis.pdf>
14. The Visual Object Tracking VOT2016 challenge results/ M. Kristan и др. //European Conference on Computer Vision Workshops.2016. С.777-823.
15. Visual object tracking using adaptive correlation filters / D. Bolmeи др. // Computer Vision and Pattern Recognition.2010. С.2544–2550.
16. Exploiting the circulant structure of tracking-by-detection with kernels/ J. Henriquesи др. // Computer Vision–ECCV. 2012. С.702–715.
17. High-speed tracking with kernelized correlation filters/ J. Henriques и др. // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 2015. С.583–596.
18. Discriminative scale space tracking / M. Danelljанидр. // IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence. 2017. С.1561–1575.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАЩИТНЫХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ

*В данной статье представлено то как могут располагаться резонансные частоты диэлектрических слоёв. Решение этой задачи позволит ответить и на другой важный вопрос: как могут располагаться частотные зоны поглощения (а следовательно и отражения) и какова их ширина. В предлагаемой статье даётся решение сформулированной выше задачи для простейшего интерференционного покрытия и следствия решения.*

Как известно [1] мощным средством защиты телекоммуникационной аппаратуры являются защитные радиомаскировочные покрытия. Для уменьшения эффективной площади рассеяния объектов телекоммуникаций широко применяются покрытия интерференционного типа [1]. Центральная частота области поглощения электромагнитной энергии определяется резонансной частотой самого покрытия, то есть диэлектрическим слоем. При резонансе поверхностное сопротивление резистивной плёнки трансформируется диэлектрическим слоем в волновое сопротивление свободного пространства. В результате электромагнитная энергия поглощается в резистивной плёнке покрытия. Поскольку диэлектрический слой является многорезонансной системой, то и интерференционное покрытие имеет бесконечное число областей поглощения и отражения. Физически ясно, что для расширения частотной области поглощения желательно иметь диэлектрический слой, резонансные частоты которого близко расположены друг к другу. Тогда из-за наличия резистивной плёнки и собственных диэлектрических потерь амплитудно-частотные характеристики соседних резонансов будут перекрываться. Это и обеспечит расширение рабочего диапазона интерференционных покрытий. Здесь возникает вопрос: как в принципе могут располагаться резонансные частоты диэлектрических слоёв? Решение этой задачи позволит ответить и на другой важный вопрос: как могут располагаться частотные зоны поглощения (а следовательно и отражения) и какова их ширина.

В предлагаемой статье даётся решение сформулированной выше задачи для простейшего интерференционного покрытия, состоящего из нерегулярного диэлектрического слоя, в начале которого расположена резистивная плёнка, а в конце помещён электрический экран, имитирующий металлическую поверхность телекоммуникационной аппаратуры. Предполагается, что диэлектрическая и магнитная проницаемости могут меняться по толщине покрытия и волна падает на покрытие под углом девяносто градусов (нормальное падение).

Поскольку диэлектрический слой с электрическим экраном является распределённой цепью, то его поверхностный импеданс является мероморфной функцией относительно комплексной частотной переменной  $p$  [ 2,4 ]:

$$Z = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\beta_k p}{p^2 + \omega_k^2} \tag{1}$$

где  $\beta_k$  - положительные числа;  $\omega_k$  - полюсы поверхностного сопротивления.

Рассмотрим цепь, состоящую из  $n$  (чётное число) линий с постоянным волновым сопротивлением (стержневую цепь Ричардса), замкнутую на конце. Потребуем, чтобы первые  $n/2$  полюсов сопротивления этой цепи были равны  $\omega_k$ ,  $k = 1, 2, \dots, n/2$ . Тогда входное сопротивление цепи Ричардса

$$Z_n(\lambda) = \sum_{k=1}^{n/2} \frac{\alpha_k \lambda}{\lambda^2 + \zeta_k^2}, \alpha_k > 0, \tag{2}$$

$$\lambda = th p \frac{t_3}{n}, \zeta_k = tg \omega_k \frac{t_3}{n}, t_3 < \frac{n\pi}{2\omega_{n/2}}.$$

Из последних соотношений следует, что  $\zeta_k > \zeta_{k-1}$ .

Теперь найдём выражение для  $\alpha_k$ , при котором  $\text{Res } Z = \text{res } Z_n(\lambda)$ ,  $p = i \omega_k$ ,  $k \leq n/2$ . Для этого обозначим

$$Z_n(\lambda) = \frac{A_n(\lambda)}{B_n(\lambda)}, \text{ тогда}$$

$$\alpha_k = 2 \frac{A_n(\lambda_k)}{\frac{dB_n(\lambda)}{d\lambda}}, \lambda = \lambda_k = i\zeta_k \text{ учитывая, что } \frac{d\lambda}{dp} = \frac{t_3}{n} \frac{1}{ch^2 \frac{t_3}{n}}, \frac{dB_n}{dp} = \frac{dB_n}{d\lambda} \frac{d\lambda}{dp},$$

$$\text{находим } \frac{dB_n}{d\lambda} = \frac{n}{t_3} ch^2 p \frac{t_3}{n} \frac{dB_n}{dp}. \text{ Следовательно } \alpha_k = \frac{t_3}{n} \frac{1}{ch^2 p_k \frac{t_3}{n}} \beta_k,$$

где  $\beta_k = 2 \text{res } Z = 2 \text{res } Z_n(\lambda)$ ,  $p = i \omega_k$ .

Учитывая, что рассматриваемые полюсы  $Z_n(\lambda)$  в  $p$ - плоскости удовлетворяют уравнению  $tg \omega \frac{t_3}{n} = \zeta_k$ ,  $k = 1, 2, \dots, n/2$ , находим время задержки

$$t_3 = \frac{n}{\omega_{n/2}} \arctg \zeta_{n/2} \tag{4}$$

Перейдём выражениях (2) и (4) к пределу при  $n \rightarrow \infty$ . В результате выраже-

ние (2) перейдёт в (1), а время задержки

$$t_3 = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n}{\omega_{n/2}} \operatorname{arctg} \zeta_{n/2}$$

Поскольку последовательность  $\{\zeta_k\}$  имеет предел, то

$$t_3 = \lim_{n \rightarrow \infty} \operatorname{arctg} \zeta_{n/2} \cdot \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n}{\omega_{n/2}} \quad (6)$$

Следовательно

$$0 < \lim_{n \rightarrow \infty} \operatorname{arctg} \zeta_{n/2} \leq \frac{\pi}{2}$$

откуда следует, что

$$0 < t_3 \leq \pi \lim_{k \rightarrow \infty} \frac{k}{\omega_k} \quad (7)$$

Таким образом для диэлектрического слоя с конечной толщиной распределение резонансных частот в ограниченной области частот может быть любым. Чтобы поверхностному импедансу (1) соответствовал диэлектрический слой конечной толщины необходимо и достаточно, как видно из выражения (7), выполнить асимптотическое условие: величина предела, стоящего в правой части формулы (7) должна быть конечной величиной, то есть резонансные частоты должны подчиняться условию:

$$0 < \lim_{k \rightarrow \infty} \frac{k}{\omega_k} < \infty \quad (8)$$

Из выражения (7) вытекает, что если величина предела

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \frac{k}{\omega_k} = 0, \infty \quad (9)$$

то время задержки (толщина диэлектрического слоя покрытия [ 3,5 ]) равно соответственно нулю и бесконечности. Условие (8) является слишком общим и гарантирует существование слоя конечной толщины. Чтобы в конце слоя был помещён электрический экран на резонансные частоты необходимо наложить дополнительные ограничения. Для этого поверхностное сопротивление (1) при конечном верхнем пределе  $n$  разложим в непрерывную дробь:

$$Z_n = \frac{1}{i\omega C_1 + \frac{1}{i\omega L_2 + \frac{1}{i\omega C_3 + \frac{1}{i\omega L_4 + \dots + \frac{1}{i\omega L_{2n}}}}} \quad (10)$$

Из данного выражения можно получить формулу для последнего элемента лестничной схемы  $L_{2n}$ :

$$L_{2n} = \frac{1}{4 \sum_{k=1}^n \frac{1}{\beta_k Q'_{2n}(\omega_k)^2}}, Q_{2n} = \prod_{k=1}^n \left( 1 - \frac{\omega^2}{\omega_k^2} \right). \quad (11)$$

При  $n \rightarrow \infty$  выражение (10) перейдет в (1), а индуктивность  $L_{2n}$  - в индуктивность последнего элемента слоя. Так как в конце слоя должен находиться электрический экран (обшивка самолета или ракеты), то индуктивность при  $n \rightarrow \infty$  должна стремиться к нулю, то есть ряд ( $\beta_k$  - ограниченные положительные числа [ 3 ])

$$\sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{Q'(\omega_k)^2} \quad (12)$$

должен расходиться. Выражение для  $Q(\omega)$  определяется соответствующей формулой (11) при  $n \rightarrow \infty$ .

Таким образом для того чтобы существовал диэлектрический слой с электрическим экраном его резонансные частоты  $\omega_1 < \omega_2 < \omega_3 < \dots$  должны удовлетворять двум условиям: должно быть соблюдено неравенство (8) и ряд (12) должен расходиться. Точно такие же ограничения накладываются и на частотные области поглощения радиомаскировочных покрытий. При этом резонансные частоты являются центральными частотами областей поглощения. Следуя изложенной выше логики можно сформулировать дополнительные ограничения, накладываемые на импеданс диэлектрических покрытий. Чтобы нерегулярный диэлектрический слой с конечным временем задержки не содержал сосредоточенных диэлектрических включений, необходимо и достаточно, чтобы

$$\sum_{k=1}^{\infty} \frac{\beta_k}{\omega_k^2} < \infty, \quad (13)$$

$$\sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{\beta_k \omega_k^2 [Q'(\omega_k)]^2} < \infty, Q(\omega) = \prod_{k=1}^{\infty} \left( 1 - \frac{\omega^2}{\omega_k^2} \right). \quad (14)$$

При этом к границе слоя может быть подключено сосредоточенное диэлектрическое включение.

Из данного результата следует ряд следствий.

**Следствие 1.** Если существует предел  $\lim_{k \rightarrow \infty} \beta_k(\tau)$ , то волновое сопротивление слоя

$$Z_{\epsilon}(\tau) = \frac{t_3 - \tau}{2} \lim_{k \rightarrow \infty} \beta_k(\tau), \quad 0 \leq \tau < t_3. \quad (15)$$

В частности, данное следствие справедливо для плавно нерегулярных слоёв.

**Следствие 2.** Если диэлектрический слой не содержит сосредоточенных включений при  $0 \leq \tau < t_3$ , то при больших  $k$

$$\frac{1}{k^{1+\delta}} \leq \beta_k(\tau) \leq k^{1+\delta}, \quad \delta > 0. \quad (16)$$

**Следствие 3.** Если исключить требование (13), то слой может содержать сосредоточенные последовательные индуктивные диэлектрические включения. Если исключить требование (14), то слой может содержать параллельные ёмкостные включения. В приложениях часто высокоомные и низкоомные отрезки слоёв, имеющих малое время задержки в заданном диапазоне частот, приближенно заменяют сосредоточенными элементами  $L$  и  $C$ . При выполнении условий (13, 14) данная процедура оказывается справедливой и для слоёв, волновое сопротивление которых обращается в бесконечность или в нуль при некоторых  $\tau$ . При этом:

$$L = \int_{\tau_1}^{\tau_2} Z_{\epsilon}(\tau) d\tau, \quad C = \int_{\tau_1}^{\tau_2} Z_{\epsilon}(\tau)^{-1} dt, \quad (17)$$

где  $[\tau_1, \tau_2]$ ,  $\tau_1 < \tau_2$  – участок линии внутри, которого  $Z_{\epsilon}(\tau)$  обращается в бесконечность или в нуль. Величина  $\tau_2 - \tau_1$  должна быть достаточно малой.

Приведенные выше рассуждения в полной мере распространяются и на проводимость.

**Следствие 4.** Чтобы существовал диэлектрический слой с входным сопротивлением

$$z = \frac{\beta_0}{P} + \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\beta_k P}{\rho^2 + \omega_k^2}, \quad (18)$$

не содержащая сосредоточенных элементов, с волновым сопротивлением  $0 < Z_{\epsilon}(0) < \infty$  и набором резонансных частот  $0 < \omega_1 < \omega_2 < \dots$  (спектром  $\{\omega_k\}$ ), нагруженная на лестничную цепь  $C_{n1}, L_{n2}$ , состоящую из  $m$  элементов, необходимо и достаточно выполнить требование (12) и условия

$$\sum_{k=1}^{\infty} \frac{\omega_k^{2(m-1)}}{[M'(\omega_k)]^2} < \infty, \quad \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\omega_k^{2m}}{[M'(\omega_k)]^2} = \infty, \quad M(\omega) = \omega Q(\omega). \quad (19)$$

При этом слой имеет конечное время задержки  $0 < t_3 < \infty$ . Если рассматривать покрытие, для которого нуль не является резонансной частотой ( $\beta_0 = 0$ ), то в условиях (19) надо  $M(\omega)$  заменить на  $Q(\omega)$  и под цепью нагрузки понимать лестничную цепь, начинающуюся с последовательной индуктивности.

**Следствие 5.** Если из последовательности  $0 < \omega_1 < \omega_2 < \dots$  исключить число  $\omega_n \neq 0$ , то новая последовательность будет спектром слоя, нагруженного на лестничную цепь из  $(m - 2)$  элементов. Если окажется, что  $(m - 2) \leq 0$ , то это означает, что спектр соответствует диэлектрическому покрытию с магнитной стенкой. Такой случай возникает, когда исходная последовательность  $0 < \omega_1 < \omega_2 < \dots$  соответствует слою нагруженного на ёмкость или диэлектрическое включение типа последовательный контур. Данный вывод непосредственно следует из соотношения

$$\frac{1}{C_{H1}} = 4 \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\beta_0^2}{\beta_k [M'(\omega_k)]^2} + \beta_0, \quad \frac{1}{C_{H1} L_{H2}} = 4 C_{H1} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\beta_0^2 \omega_k^2}{\beta_k [M'(\omega_k)]^2}, \quad (20)$$

$$\frac{1}{C_{H1} L_{H2} C_{H3}} = 4 \beta_0^2 \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\omega_k^2 C_{H1} L_{H2} - 1}{\beta_k [M'(\omega_k)]^2}. \quad (21)$$

Если к исходной последовательности  $0 < \omega_1 < \omega_2 < \dots$  добавить новое число  $\omega_n \neq \omega_k$ , то новая последовательность будет спектром слоя, нагруженного на цепь с  $(m + 2)$  элементами.

Если из набора частот  $0 < \omega_1 < \omega_2 < \dots$  исключить произвольные  $N$  чисел, отличных от нуля, и добавить другие  $N$  чисел, отличных от нуля, то вновь образованная последовательность будет спектром слоя с нагрузкой того же типа и с прежним количеством элементов.

При рассмотрении диэлектрических слоёв, для которых нуль не является резонансной частотой все выводы остаются справедливыми. Если из спектра  $0 < \omega_1 < \omega_2 < \dots$  исключить число нуль, то последовательность  $\omega_1 < \omega_2 < \dots$  является спектром слоя, нагруженного на лестничную цепь  $L_{H1}, C_{H2}, L_{H3}, \dots$ , состоящей из  $(m - 1)$  элементов. Если количество элементов получается отрицательным числом или равным нулю, то это означает, что слой имеет магнитную или электрическую стенку. Из сказанного следует, если числа  $0 < \omega_1 < \omega_2 < \dots$  являются спектром слоя с магнитной стенкой, то последовательность  $\omega_1 < \omega_2 < \dots$  является спектром слоя с электрической стенкой, но не наоборот.

**Пример.** Пусть

$$\omega_0 = 0, \quad \omega_k = \frac{(2k - 1)\pi}{2t_3}, \quad k = 1, 2, \dots,$$

То есть данные числа являются резонансными частотами короткозамкнутой однородной линии с временем задержки  $t_3$ , к которым добавлено ещё одно число нуль. Чтобы определить тип нагрузки линии с данным спектром, находим

$$M(\omega) = \omega \prod_{k=1}^{\infty} \left( 1 - \frac{\omega^2 4t_3^2}{(2k - 1)^2 \pi^2} \right) = \omega \cos \omega t_3. \quad (23)$$



Следовательно,

$$M'(\omega) = \cos \omega t_3 - \omega t_3 \sin \omega t_3. \quad (24)$$

При  $\omega = \omega_k$

$$[M'(\omega_k)]^2 = \frac{\pi^2}{4} (2k-1)^2.$$

Проверим выполнение условий (2.9). Пусть  $m = 1$ . Тогда

$$\sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{[M'(\omega_k)]^2} = \frac{4}{\pi^2} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{(2k-1)^2} = \frac{1}{2}, \quad \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\omega_k^2}{[M'(\omega_k)]^2} = \infty. \quad (26)$$

Таким образом, числа  $\omega_k$  образуют спектр диэлектрического покрытия с ёмкостной нагрузкой. Если к данной последовательности добавить ещё одно число, отличное от имеющихся, то новый числовой набор будет спектром слоя, нагруженного на лестничную цепь  $C_{n1}, L_{n2}, C_{n3}$ .

### Выводы.

В статье Теоретически обоснована возможность моделирования процесса эффективной радиолокации летательных аппаратов с искусственно сниженной ЕПР и новое решение научной проблемы, суть которой заключается в разработке нового принципа получения и использования радиолокационной информации о воздушной цели с искусственно пониженной эффективной площадью отражения на основе резонансной частотно - фазовой взаимосвязи СВЧ электромагнитного поля с кристаллической структурой радиопоглощающего покрытия.

### Список использованных источников

1. В. В. Цветков, В. П. Демин, А. И. Куприянов. Радиозлектронная борьба. Радиомаскировка и помехозащита. Вузовская книга - 2012.-240 с.
2. Коваль Ю. О., Милютченко І. О., Олейніков А. М., Шокало, В. М., Браїловський В. В., Бзовий Е. Г., Александров В. В. Основи теорії кіл, сигналів та процесів в системах технічного захисту інформації. НТМТ. - Харків.- 2011.- 544 с.
3. Гиллемин Е. А. Синтез пассивных цепей.-М.: Связь,1970.-720с.
4. Пархомей І. Р. Щодо можливості використання концентрованого резонансного електромагнітного поля. / І. Р. Пархомей//Зб. наук. пр. «Труди академії», -: К. НАОУ, 2005р.-№ 61, с.102-108.
5. Пархомей І. Р. Методи підвищення ефективності локації цілей зі штучно зниженою ефективною площею віддзеркалення. / І. Р. Пархомей// Зб. наук.пр. «Труди академії», -: К. НАОУ, 2005р. - № 66, с. 83-92.

## ОТРИМАННЯ ІНФОРМАЦІЇ ГРУПОВИМИ КЕРОВАНИМИ ОБ'ЄКТАМИ

*Анотація.* Розроблено нову архітектуру і базові компоненти системи контролю та управління БПЛА з роботизованим пристроєм та Платформою Тактичної Підтримки (ПТП) для загоризонтного керування як безпілотником, так і роботом, а також структуру апаратно-програмного комплексу Наземного Центру Управління (НЦУ), схеми інтеграції основних підсистем і засобів – серверів реєстрації, аналізу та обробки даних результатів моніторингу наземних об'єктів, сервера доступу до ресурсів відповідних сховищ даних та баз даних, компонентів системи управління цими ресурсами та потоками даних і відео.

*Ключові слова:* БПЛА, роботизований пристрій, загоризонтне управління, обробка даних, відеомоніторинг, моделювання, динамічна інтерпретація, метамодель.

### Вступ

Рознесення в просторі й синхронізація функціонування структурних елементів багатопозиційних систем радіолокації (БПСРЛ) дозволяє вишукувати додаткові можливості щодо покращення характеристик визначення ознак групового складу повітряних об'єктів. Відомо [1,2], що важливим напрямком вирішення даної задачі є зменшення імпульсного об'єму зондувальних сигналів РЛС, для чого необхідна реалізація механізмів їх стиску за тривалістю в приймальних пристроях системи, а також зменшення ширин ДСА в кутомісцевій та азимутальній площинах. Якщо здатність РЛС щодо розрішення за дальністю визначається на етапі проектування кожного конкретного радіолокаційного засобу, то розрішення цілі за кутовими координатами, яка залежить від ширин ДСА однопозиційного засобу, може бути покращена також і в процесі експлуатації за допомогою об'єднання окремих РЛС у систему й оптимальною організацією їх спільного функціонування.

При локації повітряних об'єктів, для зручності опису їх відбиваючих здатностей, в умовах багатопозиційного спостереження, доцільне введення поняття багатопозиційної ефективної площі відбиття (БП ЕПВ). Якщо сигнали, випромнені різними передавальними позиціями, приходять на вхід прийомної позиції із запізнюванням відносно один одного більш ніж на величину  $\frac{1}{\Delta f}$ , де  $\Delta f$  - ширина спектра сигналу, БП ЕПВ являє собою матрицю розмірності  $n \times m$ .

$$\sigma_{m(\vartheta)} = \begin{pmatrix} \sigma(\vartheta_{1,1}) & \sigma(\vartheta_{1,2}) & \dots & \sigma(\vartheta_{1,m}) \\ \sigma(\vartheta_{2,1}) & \sigma(\vartheta_{2,2}) & \dots & \sigma(\vartheta_{2,m}) \\ \sigma(\vartheta_{n,1}) & \sigma(\vartheta_{n,2}) & \dots & \sigma(\vartheta_{n,m}) \end{pmatrix} \quad (1)$$

Елементами матриці (1) є моностатичні, бістатичні й тіншові ефективні площі відбиття (МЕПВ, БЕПВ, ТЕПВ). Вони відповідають випадку коли приймальна станція та станція передачі розташовані відповідним чином: МЕПВ – приймальня й передавальна станції просторово сполучені; БЕПВ - приймальня й передавальна станції просторово рознесені;

ТЕПВ - приймальня й передавальна станції просторово рознесені так, що кут між напрямками візування на об'єкт із обох станцій близький до 180 градусів. Рядки матриці описують відбивні властивості повітряної цілі відносно  $m$  приймальних позицій при випромінюванні  $i$  - передавальної позиції  $i = 1, n$ , а стовпці відносно  $j$  - приймальної позиції  $j = 1, m$  при випромінюванні  $n$  передавальних.

Таке математичне трактування МП ЕПВ має на увазі наступний її фізичний зміст: МП ЕПВ — це сукупність  $n \times m$  ізотропних, ( принаймні, у межах апертури прийомних антен) відбивачів, розміщених на місці цілі, що й створюють (з урахуванням напрямку опромінення) у напрямку приймання потужність на одиницю тілесного кута, як і реальна повітряна ціль. Також передбачається, що відстань від прийомних станцій до цілі досить велика, і прийняту радіохвилю можна вважати плоскою й однорідною. Таким чином, у випадку багаторакурсного спостереження об'єкта, його відбивні властивості описуються в загальному випадку сукупністю БЕПВ. За аналогією з вищевикладеним, МП ЕПВ може бути диференціальною й інтегральною. У першому випадку в якості елементів матриці (1) використовуються диференціальні ЕПВ, а в другому - інтегральні. Якщо передавальні позиції функціонують на одній частоті й зондувальні сигнали одночасно опромінюють об'єкт спостереження, то матриця МП ЕПВ (1) трансформується у вектор розмірності  $m$ . Це відбувається через те, що зондувальні сигнали передавальних позицій складаються на об'єкті, і кожна приймальня позиція отримує не  $n$  сигналів, а один. У цьому випадку всю сукупність передавальних позицій БПСРЛ можна розглядати у вигляді однієї еквівалентної станції.

Стосовно до МЕПВ і БЕПВ правомірне застосування теореми про їхню еквівалентність [1]. Використовуючи введене поняття багатопозиційної ЕПВ, можна сформулювати твердження про еквівалентність матриці багатопозиційної ЕПВ (1) відповідно матриці аналогічної розмірності, елементами якої є МЕПВ [2].

У теорії радіолокації, є ряд підходів до розв'язання задачі розпізнавання типу об'єктів спостереження. Однак розв'язати її із прийнятним рівнем імовірності в багатьох випадках не вдається.

Тому важливо відзначити, що матриця (1) за своєю суттю являє собою радіолокаційний портрет об'єкта спостереження й може бути використана для вирішення задачі розпізнавання в БПСРЛ [3].

Пропонований метод розпізнавання заснований на порівнянні поточних оцінок ЕПВ виявленого об'єкта з еталонними діаграмами ЕПВ апріорно відомих об'єктів. При спостереженні об'єкта багатопозиційною радіолокаційною системою, що полягає з  $m$  позицій, з яких  $n$  - приймальнопередавальні, а  $(m - n)$  - приймальні, оцінки ЕПВ об'єкта являють собою матрицю, де відомими є значення елементів та бістатичні кути, при яких вони обмірювані. База даних еталонних діаграм ЕПВ повинна виражатися у вигляді такої залежності:

$$\sigma(\phi, \varepsilon, \phi_\beta, \varepsilon_\beta), \phi \in [0, 2\pi], \varepsilon \in \left[-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right], \phi_\beta \in [0, 2\pi], \varepsilon_\beta \in \left[-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right] \quad (2)$$

Тоді алгоритм роботи системи розпізнавання буде полягати в наступному. Перед початком функціонування БПСРЛ із блоку керування в базу даних еталонів надходить інформація про перелік розвідувальних об'єктів  $\rho$  і можливі ракурси їх спостереження  $[\phi_1, \phi_2]$  та  $[\varepsilon_1, \varepsilon_2]$ . Сюди ж у процесі функціонування БПСРЛ надходять поточні дані про бістатичні кути спостереження об'єкта  $\phi_{\beta ij}, \varepsilon_{\beta ij}, i = 1, n, j = 1, m$ , що виявляється. Відповідно до цієї інформації база даних видає вибірки з еталонних діаграм:

$$\sigma_l(\phi, \varepsilon, \phi_\beta, \varepsilon_\beta), l = 1, \rho, \phi \in [\phi_1, \phi_2], \varepsilon \in [\varepsilon_1, \varepsilon_2], \phi_\beta = \phi_{\beta ij}, \varepsilon_\beta = \varepsilon_{\beta ij}, i = 1, n, j = 1, m \quad (3)$$

Вони надходять на блок порівняння; туди ж надходять поточні значення ЕПВ виявленого об'єкта  $\sigma_0(\phi_0, \varepsilon_0, \phi_{\beta ij}, \varepsilon_{\beta ij}), i = 1, n, j = 1, m$ .

У блоці проводиться порівняння еталонних і поточних ЕПВ; результати порівняння  $A_l$  надходять у блок аналізу, де відповідно до алгоритму  $\max(A_l)$  або  $l \in \rho$   
 $\min(A_l)$  ухвалюється рішення про приналежність виявленого об'єкта певному типу.  
 $l \in \rho$

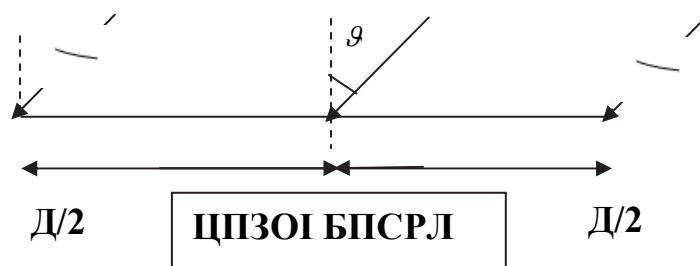
Розрахунки, проведені з використанням даного алгоритму розпізнавання до реальних об'єктів, підтверджують можливість розпізнавання типу об'єкта з досить високою ймовірністю[3].

Розглянутий алгоритм може бути вдосконалений шляхом уточнення ухваленого рішення за рахунок збільшення здатності розрішення БПСРЛ за кутовими координатами у випадку можливої локації групових повітряних цілей. Дане припущення про груповий склад об'єкта може бути винесене в процесі аналізу її радіолокаційного портрета й звірення його з еталонами. У цій ситуації доцільна реалізація механізму підвищення відповідної здатності розрішення БПСРЛ за рахунок використання «багатоточечного» прийому й наступної обробки відбитого від цілі сигналу. Процес вибору й синхронізація роботи конкретних «точок» прийому БПСРЛ можуть бути алгоритмізовані залежно від розглянутої ситуації (припущення про груповий характер аналізованого об'єкта) і геометрії польоту цілі.

Розглянемо загальні підходи до реалізації механізму покращення здатності розрішення БПСРЛ за кутовими координатами у випадку приймання відбитого від

цілі сигналу двома прийомними пристроями БПСРЛ, рознесеними на відповідну базову відстань. Умовимося, що структурно гіпотетична БПСРЛ буде складатися із  $N$  РЛС, центрального пункту збору та обробки інформації (ЦПЗОІ), який інтегрований з пунктом управління системи (ПУ).

Прийняті сигнали в ЦПЗОІ БПСРЛ підсумовуються, підсилюються й після квадратичного детектування усереднюються вихідним реєструючим обладнанням (рис. 1.1).



**Рис. 1.** – Схема приймання відбитого від цілі сигналу двома прийомними пристроями БПСРЛ

Таким чином, якщо напруженості полів, прийнятих антенами від точкового джерела, рівні відповідно  $AF(\vartheta)\sin\omega t$  й  $AF(\vartheta)\sin(\omega t + \varphi)$  (тут  $F(\vartheta)$  – діаграма спрямованості антени за напруженістю поля;  $\vartheta$  – кут з нормаллю до базової лінії; оскільки ми вважаємо, що відстань до джерела багато більше  $D$ ).

Звідси слідує, що амплітуди полів в антенах приймаючих РЛС однакові,  $\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} D \sin(\vartheta)$ , та потужність сигналу на виході обладнання дорівнює [4]:

$$P(\vartheta) = \pi [AF(\vartheta)\sin\omega t + AF(\vartheta)\sin(\omega t + \varphi)]^2 \phi = A^2 F(\vartheta) [1 + \cos(\frac{2\pi}{\lambda} D \sin\vartheta)] \quad (4)$$

т.ч. прийомна діаграма спрямованості за потужністю в цьому випадку дорівнює:

$$F_E(\vartheta) = F(\vartheta) [1 + \cos(\frac{2\pi}{\lambda} D \sin\vartheta)], \quad (5)$$

де  $F(\vartheta)$  – діаграма за потужністю одиночної антени.

Якщо кути  $\vartheta$  невеликі й можна вважати  $\sin\vartheta \approx \vartheta$ , то:

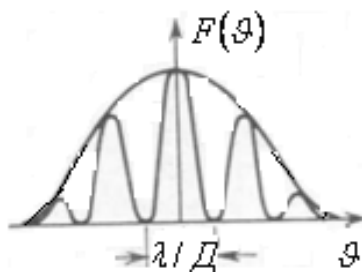
$$F_E(\vartheta) = F(\vartheta) [1 + \cos(\frac{2\pi}{\lambda} D \vartheta)], \quad (6)$$

Тобто діаграма спрямованості являє собою багатопелюсткову структуру з однаковими відстанями між сусідніми максимумами й нулями, яка обгинається  $F(\vartheta)$  – діаграмою окремої антени в розглянутому випадку.

Таким чином, розрішення при двопозиційнім прийманні сигналу за кутом, тобто ширина пелюстки на рівні половинної потужності, дорівнює:

$$\Delta\vartheta_E = \lambda / 2D, \quad (7)$$

що відповідає розрішенню суцільної апертури діаметром  $2D$ , тобто розрішення у цьому випадку вдвічі краще розрішенню суцільної апер вайбері з батьками може скажуть їй ті що забирають сатури того ж діаметра  $D$ .



**Рис. 2.** - Діаграма спрямованості синтезованої антени при двопозиційному прийомі

Однак настільки високе розрішення в даному випадку можна реалізувати для визначення координат точкового джерела в цілі групового складу, але не для аналізу розподілу радіояскравості.

Радіояскравості – радіолокаційного зображення протяжного об'єкта в цьому ж складі. Для даного виміру з розрішенням  $\frac{\lambda}{A}$  (за кутом  $\varphi$  при постійному напруженню бази) необхідна реєстрація всіх просторових частот від нуля до, тобто використання змінної відстані між антенами БПСРЛ, реалізованою конкретною конфігурацією побудови системи та алгоритмами регламентації функціонування її складових.

Розглянута процедура дозволяє одержати більш деталізований радіолокаційний портрет повітряної цілі, яка підпадає під класифікацію й відповідно максимально підвищити ймовірність її правильного розпізнавання.

Підводячи підсумок розглянутого, можливо стверджувати, що найбільш актуальними шляхами реалізації потенційних характеристик визначення ознак групового складу повітряних об'єктів у системах БПРЛ є:

- 1) розширення банку даних еталонів діаграм розсіювання повітряних цілей;
- 2) розробка оптимальних алгоритмів підвищення здатності розрішення БПСРЛ за кутовими координатами у випадку локації повітряних цілей групового складу;
- 3) застосування в БПСРЛ, у перспективі, коротких (до нанометрових) або модифікованих частотно (фазо)-модульованих (маніпульованих) зондуючих сигналів, використання яких дозволить забезпечити суттєве підвищення здатності розрішення системи за дальністю;
- 4) розробка оптимальних алгоритмів регламентації функціонування РЛС у складі БПСРЛ за умов складної сигнально-завадової обстановки.

## Висновки

Розроблено нову технологію обробки результатів наземного моніторингу та робіт з бортовим роботом, що формують потоки телеметрії, оперативного управління БПЛА та ПТП, потоки даних з відеокамер, дані дистанційного керування роботом на БПЛА, прискорюють аналіз і обробку даних у ІТ-середовищі системи з використанням метамоделей опису та обробки повідомлень, а також на основі відповідних сервісів і ресурсів НЦУ.

Розроблено нові метамоделі управління розподіленими джерелами даних для ETL – процесів обробки програмно-апаратними засобами НЦУ, а також основні компоненти систем аналізу та обробки потоків телеметрії ЛА, відеомоніторингу та управління, включаючи застосування метамоделей опису та управління для консолідації інформації сховищ, операційних баз даних, інших джерел корпоративного рівня на основі використання нових метамоделей.

Параметри і структура таких моделей динамічно інтерпретуються спеціальними алгоритмами зв'язування і використовуються для управління цими процесами.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Отражательная способность радиолокационных целей. ТИИЭР, 1965, т. 53. №8.
2. Самойлов С.И. Измерение бистатических эффективных поверхностей рассеяния сложных объектов. – Электромагнитные волны и радиоэлектронные системы. № 2. т.5. 2000 г. С. 64-68.
3. Вопросы перспективной радиолокации. Коллективная монография / Под ред. А.В. Соколова. – М.: Радиотехника, 2003. 512 с.: ил. (Сер. Радиолокация).
4. Цейтлин Н.М. Антенная техника и радиоастрономия. М., «Сов. радио», 1976, 352 с.

## МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ТАКТОВОЇ СИНХРОНІЗАЦІЇ З МЕТОЮ ПІДВИЩЕННЯ ШВИДКОДІЇ ТА ДИНАМІЧНОЇ ТОЧНОСТІ

*Анотація:* В статті виконаний аналіз стійкості існуючої системи тактової синхронізації методом логарифмічних частотних характеристик, та аналіз режимів і методів синхронізації мереж. Проведено дослідження методу підвищення швидкодії і динамічної точності.

*Ключові слова:* система тактової синхронізації, принцип керування по відхиленню, передаточна функція, метод логарифмічних частотних характеристик, динамічна точність

Основним завданням планування мережі тактової синхронізації (ТС) є визначення рівня та кількості пристроїв синхронізації, місць їх розміщення, схем та засобів розподілу сигналів. Мережа ТС повинна забезпечувати високі показники точності і стабільності тактових сигналів в різних точках мережі з метою зменшення розходження частот генераторів. Оптимальні шляхи рішення цих задач для кожного конкретного випадку вибираються на етапі планування — розробки проекту мережі ТС. Основною задачею при цьому є вибір тих чи інших шляхів передачі синхросигналів та створення систем резервування, які б не допускали можливості виникнення петель (циклів) синхронізації. При цьому необхідно вести облік з'єднань (які постійно змінюються), облік обладнання що входить до трактів розподілу ТС або може бути використане в майбутньому та при тимчасових з'єднаннях. Ефективне вирішення цих задач може бути здійснене шляхом впровадження систем автоматизованого проектування.

Проблеми, пов'язані з синхронізацією пристроїв, виникли з появою методів передавання інформації. І дійсно, будь-яка процедура дискретизації, передавання та прийому бінарного сигналу або кодованого бінарного сигналу потребує узгодженості частот передавання та прийому. Якщо цього не забезпечити, інформація, що передається, буде прийнята некоректно. Головною метою синхронізації є забезпечення однакових або кратних тактових частот генераторів усіх пристроїв, що складають мережу телекомунікацій.

До систем тактової синхронізації представляються вимоги високої точності та швидкодії, так як від них залежать надійність та швидкість передавання інформації.

В апаратурі передачі даних використовується система тактової синхронізації з принципом керування по відхиленню. В даній системі присутнє проти-



Міжвідомчий науково-технічний збірник «Адаптивні системи автоматичного управління» № 1' (32) 2018

річчя між умовами підвищення динамічної точності та умовами стійкості (умовами покращення перехідного процесу), являється перешкодою на шляху підвищення показників якості системи. Ця система, як показує аналіз її математичної моделі, має значні динамічні помилки та час перехідного процесу. Це являється значним недоліком, який зменшує продуктивність системи передачі даних і може призвести до приймання невірної інформації або призвести до втрати зв'язку.

Після зрівнювальної оцінки способів підвищення швидкодії (зменшення часу перехідного процесу, за який система тактової синхронізації входить в синфазний стан) і динамічної точності. В дипломній роботі вибраний метод підвищення швидкодії та динамічної точності, введення складової в систему розімкнутого зв'язку по жадаючій дії – фазі тактових імпульсів. Цей зв'язок не впливає на стійкість замкнутої частини системи і через це її параметри можуть бути синтезовані в відповідності з умовами покращення перехідного процесу та зменшення динамічних помилок, тобто при введенні зв'язку втрачається протиріччя між умовами підвищення динамічної точності та стійкості. Синтез зв'язку по заданій дії виконаний в відповідності з умовами компенсації повільно затухаючої компоненти перехідної складової помилки, завдяки чому вдалося одночасно підвищити швидкодію і динамічну точність системи тактової синхронізації.

Виконаний аналіз стійкості існуючої системи тактової синхронізації методом логарифмічних частотних характеристик, та аналіз режимів та методів синхронізації мереж. Виконано огляд систем тактової синхронізації деяких країн світу

Від швидкодії системи тактової синхронізації залежить виробництво апаратури передачі дискретної інформації (ПДІ), а від динамічної точності системи - надійності передачі.

Як показав розрахунок перехідної складової помилки, час перехідного процесу існуючої системи тактової синхронізації, що визначає її швидкодію, дорівнює  $t_p = 0.8c$ , а з відповідністю з розрахунком динамічних помилок швидкісна помилка при  $\Delta f = 20\text{Гц}$  складає  $10,048^\circ$ . При зростаючих вимогах до продуктивності і надійності передачі дискретної інформації ці показники системи тактової синхронізації не повністю задовольняють підвищеним вимогам. Через це з ціллю підвищення продуктивності і надійності передачі дискретної інформації необхідно підвищувати швидкодію і динамічну точність системи тактової синхронізації.

Як відомо [1] одним із способів зменшення динамічних помилок системи автоматичного управління, до яких відноситься і система тактової синхронізації, являється підвищення коефіцієнта підсилення системи в розімкненому стані  $K_p$ . Але

при збільшенні  $K_p$  зменшується запас стійкості системи, погіршується перехідний процес, зменшується її швидкодія, тобто в традиційних системах з принципом управління по відхиленню є протиріччям між умовою підвищення динамічної точності та умовою стійкості (умовою покращення перехідного процесу).

Включення традиційних коригуючих пристроїв [2] в систему автоматичного управління (в СТС) хоча й дозволяє в певній мірі підвищити динамічну точність та покращити перехідний процес системи, але не спростовує вказаного вище протиріччя, що являється перешкодою на шляху покращення показників якості системи.

Ефективним способом підвищення динамічної точності являється збільшення порядку астетицизму системи. Таке підвищення можливе завдяки включенню в замкнутий контур системи інтегруючої ланки. Але ця ланка вносить запізнення коливань по фазі в своїй області частот, що дорівнює  $90^\circ$ , і цим самим запас стійкості системи, а отже погіршує перехідний процес.

Протиріччя між умовами підвищення динамічної точності та умовою стійкості (умовою покращення перехідного процесу) виключається при побудові систем автоматичного управління з принципом комбінованого управління, тобто поєднання принципу управління по відхиленню (що реалізується за допомогою зворотного зв'язку) та принципу керування за невдоволенням (заданого впливу). Останній реалізується за допомогою розімкнутого зв'язку за заданим впливом. Цей зв'язок не впливає на стійкість замкнутої частини системи і через це її параметри можуть бути синтезовані у відповідності з тією чи іншою умовою підвищення динамічної точності або покращення перехідного процесу, не піклуючись про стійкість системи [3].

Через це для підвищення швидкодії та динамічної точності СТС вводимо розімкнений зв'язок по заданій дії ЗЗД, тобто будуюмо систему ТС з принципом комбінованого керування.

Функціональна схема комбінованої системи тактової синхронізації зображена на рис.1.

Новими елементами в порівнянні з існуючою СТС (рис.1) являється введений розімкнений зв'язок по заданій дії (ЗЗД) (фазі  $\alpha_{\Delta\omega}$ ), за допомогою якої на суматор  $\Sigma$  подається сигнал, що являється функцією заданої дії.

На математичній моделі передаточна функція зв'язку по заданій дії позначена  $W_\alpha(p)$  (рис.2)

Для підвищення швидкодії СТС вибираємо ефективний та порівняно простий метод, що є складовою в компенсації повільно затухаючих компонент перехідної складової помилки за допомогою зв'язку по заданій дії [4].

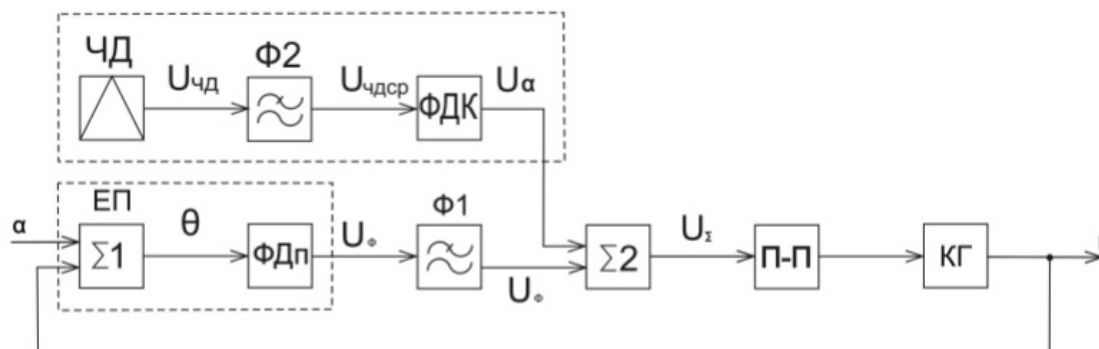


Рис. 1. - Функціональна схема комбінованої системи тактової синхронізації

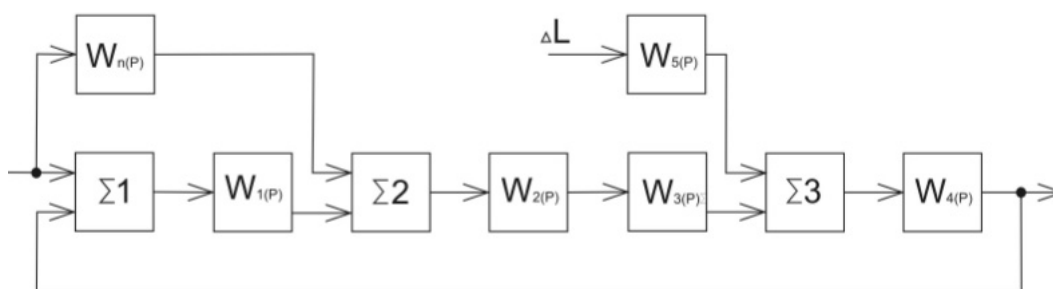


Рис. 2. - Математична модель передаточної функції зв'язку по задаючій дії

Необхідно визначити передаточну функцію  $W_{B\alpha}(p)$  зв'язку по заданій дії  $\alpha_{\Delta\omega}(p)$  із умови подавлення повільно затухаючої компоненти, що відповідає парі комплексних коренів  $P_{1,2} = -3,9991 \pm j10,7124 = \alpha \pm j\omega$  характеристичного рівняння системи. Приймаємо наступний порядок синтезу [5]:

У відповідності до математичної моделі комбінованої системи (рис.2) знаходимо її передаточну функцію по помилці.

$$W_{\theta K}(p) = \frac{1 - W_2(p)W_\alpha(p)}{1 + W_1(p)W_2(p)} = \frac{[F_2(p)F_{B\alpha}(p) - D_2(p)D_{B\alpha}(p)]F_1(p)}{[F_1(p)F_2(p) + D_1(p)D_2(p)]F_{B\alpha}(p)} = \frac{M_0(p)F_1(p)}{F_\theta(p)F_{B\alpha}(p)} \quad (1)$$

де:  $M_0(p) = F_2(p)F_{B\alpha}(p) - D_2(p)D_{B\alpha}(p)$ ;  $F_\theta(p) = F_1(p)F_2(p) + D_1(p)D_2(p)$

або після підстановки значень  $D_i(p)$  та  $F_i(p)$ ,  $i = 1,2$

$$W_{\theta K}(p) = \frac{[(T_3p + 1)pF_{B\alpha}(p) - K_2D_{B\alpha}(p)](T_1p + 1)}{[(T_1p + 1)(T_3p + 1)p + K_1K_2]F_{B\alpha}(p)} \quad (2)$$

Можливість компенсації повільно затухаючих компонент перехідної складової помилки за допомогою зв'язку по заданій дії пояснюється тим, що видно з формули (2), поліноми  $D_{B\alpha}(p)$  та  $F_{B\alpha}(p)$  передаточної функції  $W_{B\alpha}(p)$  зв'язку по заданій входять в чисельник передаточної функції по помилці комбінованої системи. оскільки зв'язок по заданій дії не впливає на стійкість

замкнутої частини системи, то є можливість свободи вибору цих поліномів. При відповідному виборі вказаних поліномів з'являється можливість компенсації повільно затухаючих компонент перехідної складової помилки.

Записуємо характеристичне рівняння замкнутої частини системи:

$$\begin{aligned} F_{\theta}(p) &= (T_1 p + 1)(T_3 p + 1)p + K_1 K_2 = C_3 p^3 + C_2 p^2 + C_1 p + C_0 = \\ &= 0,0018 p^3 + 0,11 p^2 + p + 12,5 = 0 \end{aligned}$$

Корені даного рівняння були визначені раніше:

$$\begin{aligned} P_{1,2} &= -3,9991 \pm j10,7124 = \alpha \pm j\omega; \alpha = -3,9991, \omega = 10,7124 \\ P_3 &= -53,113 \end{aligned}$$

Визначаємо число компонент перехідної складової помилки (число коренів характеристичного рівняння замкнутої частини системи), яке необхідно компенсувати. Оскільки  $|\alpha| \ll P_3$ , то покращення перехідного процесу, як вказувалось раніше, можна досягти, якщо компенсувати два комплексно-спряжених корені  $P_1 = \alpha + j\omega$  та  $P_2 = \alpha - j\omega$ , яким відповідає повільно затухаюча коливальна компонента (крива 1, рис. 11) перехідної складової помилки.

Таким чином, число коренів, яке необхідно компенсувати;  $K = 2$

Визначаємо вид передаточної функції  $W_{Ba}(p)$  зв'язку по заданій дії, що відповідає умові зберігання порядку астетизму системи, вимогам компенсації  $K$  коренів характеристичного рівняння замкнутої частини системи та фізичної реалізованості.

Для зберігання порядку астетизму системи необхідно, щоб порядок нижчої похідної заданої дії, що вводиться в систему за допомогою розімкнутого зв'язку, дорівнював або був більший порядку астетизму  $\nu$  існуючої системи.

Порядок астетизму існуючої системи  $\nu = 1$ . Через це нижчій похідній заданої дії приймаємо її першу похідну.

Для компенсації  $K$  коренів характеристичного рівняння замкнутої системи необхідно ввести  $K$  похідних від заданої дії. У випадку, що розглядається  $K = 2$ , через це потрібно ввести дві похідні від заданої дії – першу та другу

Умова фізичної реалізованості передаточної функції зводиться до того, що порядок  $n$  її чисельника повинен бути менше або дорівнювати порядку  $m$  її знаменника:  $n \leq m$ .

Передаточна функція  $W_{Ba}(p)$  зв'язку по заданій дії, що відповідає перерахованим вимогам має вигляд:

$$W_{Ba}(p) = \frac{\tau_2 p^2 + \tau_1 p}{d_2 p^2 + d_1 p + d_0} = \frac{D_{Ba}(p)}{F_{Ba}(p)} \quad (3)$$

Вибираємо параметри полінома  $F_{Ba}(p)$ . Рівняння  $F_{Ba}(p) = 0$  містить корені

$P_{\alpha 1}$  та  $P_{\alpha 2}$ , які вносять зв'язок по заданій дії в систему. Через це кожний із цих коренів по абсолютній величині повинен бути більше речових частин комплексно-спряжених коренів  $P_1$  та  $P_2$ .

Вибираємо:

$$\begin{aligned} P_{\alpha 1} &= 7\alpha = 7(-3,9991) = -27,993 \\ P_{\alpha 2} &= 10\alpha = 10(-3,9991) = -39,991 \end{aligned}$$

При цьому:

$$\begin{aligned} F_{B\alpha}(p) &= d_2 p^2 + d_1 p + d_0 = (p - P_{\alpha 1})(p - P_{\alpha 2}) = (p + 27,993)(p + 39,991) = \\ &= p^2 + (27,993 + 39,991)p + 27,993 * 39,991 = p^2 + 67,984p + 1119,4681 \end{aligned}$$

Звідси:  $d_2 = 1; d_1 = 67,984; d_0 = 1119,4681$  (4)

Розбиваємо характеристичний поліном замкнутої частини системи  $F_{\theta}(p)$  на два у відповідності з отриманими його коренями:

$$\begin{aligned} F_{\theta}(p) &= (T_1 p + 1)(T_3 p + 1)p + K_1 K_2 = T_1 \cdot T_3 p^3 + (T_1 + T_3)p^2 + p + K_1 K_2 = \\ &= T_1 \cdot T_3 \left[ p^3 + \frac{T_1 + T_3}{T_1 \cdot T_3} p^2 + \frac{1}{T_1 \cdot T_3} p \frac{K_1 K_2}{T_1 \cdot T_3} \right] = T_1 \cdot T_3 [(p - p_1)(p - p_2)](p - p_3) = \\ &= T_1 \cdot T_3 \cdot F_{01}(p) \cdot F_{01}(p) \end{aligned} \quad (5)$$

де:

$$\begin{aligned} F_{01}(p) &= (p - p_1)(p - p_2) = (p + 3,9991 + j10,7124)(p + 3,9991 - j10,7124) = \\ &= p^2 + 3,9991p - j10,7124 + 3,9991^2 - j10,7124 \cdot 3,9991 + 0,7124p + \\ &+ j10,7124 \cdot 3,9991 - 10,7124^2 = p^2 + 7,9982p + 130,7486 \end{aligned} \quad (6)$$

$$F_{02}(p) = p - p_3 = p + 53,13 \quad (7)$$

Один із співмножників - поліном  $F_{01}(p)$  містить комплексно спряжені корні, які необхідно компенсувати.

Передаточну функцію комбінованої системи (1) з врахуванням (5) запишемо у вигляді:

$$W_{\theta K}(p) = \frac{M_0(p)F_1(p)}{T_1 T_3 F_{01}(p)F_{02}(p)F_{B\alpha}(p)} \quad (8)$$

де:  $M_0(p) = F_2(p)F_{B\alpha}(p) - D_2(p)D_{B\alpha}(p)$

Оскільки в поліном  $M_0(p)$  входить поліном  $D_{B\alpha}(p)$  чисельника передаточної функції  $W_{B\alpha}(p)$  зв'язку по заданій дії, то при виборі його параметрів можна компенсувати нулі полінома  $F_{01}(p)$ .

Для цього поліном  $M_0(p)$  розбиваємо на два співмножники  $M_0(p) = M_{01}(p)M_{01}(p)$ . При цьому передаточна функція (8) приймає вигляд:

$$W_{\theta K}(p) = \frac{M_{01}(p)M_{02}(p)F_1(p)}{T_1T_3F_{01}(p)F_{02}(p)F_{Ba}(p)} \quad (9)$$

Умовою компенсації нулів поліному  $F_{01}(p)$  нулями полінома  $M_{01}(p)$  являється:

$$F_{01}(p) = M_{01}(p) \quad (10)$$

Для визначення  $M_{02}(p)$  потрібно поліном  $M_0(p)$  розділити на поліном  $F_{01}(p)$ :

$$M_{02}(p) = \frac{M_0(p)}{F_{01}(p)}$$

При виконанні умови компенсації (3.10) передаточна функція  $W_{\theta K}(p)$  прийме вигляд:

$$W_{\theta K}(p) = \frac{M_{02}(p)F_1(p)}{T_1T_3F_{02}(p)F_{\alpha}(p)} \quad (11)$$

Згідно (6), (7) та (8) поліном  $M_0(p)$  визначається виразом:

$$\begin{aligned} M_0(p) &= F_2(p)F_{\alpha}(p) - D_2(p)D_{\alpha}(p) = \\ &= (T_3p + 1)p(d_2p^2 + d_1p + d_0) - (K_2\tau_2p^2 + \tau_1p) = \\ &= a'_4p^4 + a'_3p^3 + a'_2p^2 + a'_1p; \\ a'_4 &= T_3d_2 = 0,09 \cdot 1 = 0,09; \end{aligned}$$

$$a'_3 = T_3d_1 + d_2 = 0,09 \cdot 67,984 + 1 = 7,11861;$$

$$a'_2 = T_3d_0 + d_1 - K_2\tau_2 = 0,09 \cdot 1119,4681 + 67,984 - 12,5\tau_2 = 168,739 - 12,5\tau_2$$

$$a'_1 = d_0 - K_2\tau_1 = 1119,4681 - 12,5\tau_1$$

$$\frac{M_0(p)}{F_{01}(p)} = \frac{0,09p^4 + 7,11861p^3 + (168,739 - 12,5\tau_2)p^2 + (1119,4681 - 12,5\tau_1)p}{p^2 + 7,99825p + 130,7486} = M_{02}(p) + \text{залишок}$$

де:  $M_{02}(p) = 0,09p^2 + 6,39877p$ ;

$$\text{залишок} = \frac{105,79275 - 12,5\tau_2p^2 + (1119,4681 - 12,5\tau_1 - 836,63)p}{p^2 + 7,99825p + 130,7486}$$

Щоб залишок дорівнював нулю, необхідно виконати умови:

$$105,79275 - 12,5\tau_2 = 0;$$

$$1119,4681 - 836,63 - 12,5\tau_1 = 0,$$

у відповідності з яким і знаходимо значення коефіцієнтів  $\tau_1$  та  $\tau_2$ , що входять в формулу (3).

$$\tau_1 = \frac{282,8384}{12,5} = 22,627072;$$

$$\tau_2 = \frac{105,79275}{12,5} = 8,46 \quad (12)$$

Таким чином

$$M_{02}(p) = 0,09p^2 + 6,39877p \quad (13)$$

Підставивши значення параметрів в (11), отримуємо передаточну функцію по помилці комбінованої системи:

$$W_{\theta K}(p) = \frac{\theta_{\alpha K}(p)}{\alpha_{\omega}(p)} = \frac{M_{02}(p)F_1(p)}{T_1 T_3 F_{02}(p)F_{Ba}(p)} = \frac{(0,09p^2 + 6,39877p)(0,02p + 1)}{0,02 \cdot 0,09(p + 53,111)(p^2 + 67,984p + 1119,4684)} =$$

$$= \frac{a_3 p^3 + a_2 p^2 + a_1 p}{0,0018(c_3 p^3 + c_2 p^2 + c_1 p + c_0)} = \frac{D_{\theta K}(p)}{F_{\theta K}(p)} \quad (14)$$

де:  $a_3 = 0,09 \cdot 0,02 = 0,0018$ ;  $C_3 = 1$ ;  
 $a_2 = 0,09 + 6,398775 \cdot 0,02 = 0,2179955$ ;  $C_2 = 53,111 + 67,984 = 121,095$ ;  
 $a_1 = 6,39877$ ;  $C_1 = 1119,4684 + 53,111 \cdot 67,984 = 4730,1663$ ;  
 $C_0 = 1119,4684 \cdot 53,11159456,123$

Після компенсації комплексно-спряжених коренів  $P_1$  та  $P_2$  характеристичне рівняння  $F_{\theta K}(p) = 0$  комбінованої системи має реальні корені

$$P_3 = -53,111 \quad P_{\alpha 1} = -27,993; \quad P_{\alpha 2} = -39,991.$$

Зображення помилки комбінованої системи при заданій дії

$$\alpha_{\Delta\omega}(p) = \frac{D_{\alpha}(p)}{F_{\alpha}(p)};$$

$$\theta_{\alpha K}(p) = W_{\theta K}(p)\alpha(p) = \frac{M_{02}(p)F_1(p)}{T_1 T_3 F_{02}(p)F_{Ba}(p)} \cdot \frac{D_{\alpha}(p)}{F_{\alpha}(p)} = \frac{D_{\theta K}(p)}{F_{\theta K}(p)} \cdot \frac{D_{\alpha}(p)}{F_{\alpha}(p)};$$

Перехідна складова помилки:

$$\theta_{PK}(t) = A_3 e^{P_3 t} + A_{\alpha 1} e^{P_{\alpha 1} t} + A_{\alpha 2} e^{P_{\alpha 2} t};$$

де:  $A_i = \frac{D_{\theta K}(P_i)D_{\alpha}(P_i)}{F'_{\theta K}(P_i)F_{\alpha}(P_i)}, i = 1, \alpha 1, \alpha 2.$

При зміні заданої дії по закону одиничної ступінчатої функції  $\alpha(t) = 1, \alpha(p) = \frac{1}{p}$ , початкове значення і-ї компоненти перехідної складової помилки:

$$A_i = \frac{D_{\theta K}(P_i)}{F'_{\theta K}(P_i)} \cdot \frac{D_{\alpha}(P_i)}{F_{\alpha}(P_i)} = \frac{a_3 p_i^3 + a_2 p_i^2 + a_1 p_i}{0,0018(3C_3 p^2 + 2C_2 p_i + C_1)} \cdot \frac{1}{p_i} =$$

$$= \frac{a_3 p_i^3 + a_2 p_i + a_1}{0,0018(3C_3 p^2 + 2C_2 p_i + C_1)} \quad (15)$$

Підставивши в (15) значення коефіцієнтів із (6) та коренів отримуємо:

$$A_3 = \frac{0,0018(-53,111)^2 + 0,2179955(-53,111) + 6,398775}{0,0018[3 \cdot 1 \cdot (-53,111)^2 + 2 \cdot 121,095(-53,111) + 4730,1663]} = -0,169848$$

$$A_{\alpha 1} = \frac{0,0018(-27,993)^2 + 0,217995(-27,993) + 6,398775}{0,0018[3 \cdot 1 \cdot (-27,993)^2 + 2 \cdot 121,095(-27,993) + 4730,1663]} = 3,147$$

(корінь зв'язку по заданій дії, що вноситься  $P_{\alpha 1} = -27,993$ )

$$A_{a2} = \frac{0,0018(-39,991)^2 + 0,217995(-39,991) + 6,398775}{0,0018[3 \cdot (-39,991)^2 + 2 \cdot 121,095(-39,991) + 4730,1663]} = -1,977$$

Перехідна складова помилки комбінованої системи:

$$\begin{aligned} \theta_{ПК}(t) &= A_1 e^{P_1 t} + A_{a1} e^{P_{a1} t} + A_{a2} e^{P_{a2} t} = \\ &= -0,169848 e^{-53,111t} - 1,9977 e^{-39,991t} + 3,147 e^{-27,993t} \end{aligned}$$

Компоненти перехідної складової помилки, розраховані на ПЕОМ, які зображені на рис.6:  $-0,169848 e^{-53,111t}$  – кривою 1;  $-1,9977 e^{-39,991t}$  – кривою 3;  $3,147 e^{-27,993t}$  – кривою 2, а перехідна складова помилки  $\theta_{ПК}(t)$  – кривою 4.

Згідно кривій 4, відповідній перехідній, що є складовою помилки  $\theta_{ПК}(t)$ , час перехідного процесу при одиничному стрибку заданої дії  $t_{pk} = 0,27c$ , тобто із введенням зв'язку по заданій дії та компенсації повільно затухаючої коливальної складової, час перехідного процесу зменшився в:

$$\frac{t_p}{t_{pk}} = \frac{0,8}{0,27} = 2,96 \text{ раз}$$

Крім того, замість коливального перехідна функція має аперіодичний характер, а пере регулювання зменшилось від  $\sigma = 30\%$  до нуля.

Наглядне представлення впливу зв'язку по заданій дії на перехідну складову помилки дає рис.20, де в одному масштабі зображені перехідна складова помилки вихідної  $\theta_{II}(t)$  та комбінованої  $\theta_{ПК}(t)$  систем тактової синхронізації.

Уточнюємо передаточну функцію зв'язку по заданій дії. Згідно (3), (4) та (12):

$$W_{\beta\alpha}(p) = \frac{\tau_2 p^2 + \tau_1 p}{d_2 p^2 + d_1 p + d_0} = \frac{8,46 p^2 + 22,627072 p}{p^2 + 67,984 p + 1119,4681}$$

У відповідності із значеннями коефіцієнтів реальних диференціальних пристроїв  $d_0 = 1$ . Поділивши знаменник та чисельник передаточної функції  $W_{\beta\alpha}(p)$  на  $d_0 = 1119,4681$ , отримаємо:

$$W_{\beta\alpha}(p) = \frac{0,007557 p^2 + 0,020221234 p}{0,00089328 p^2 + 0,060728 p + 1} = \frac{0,020221234 p(0,37388 p + 1)}{(T_2 p + 1)(T_4 p + 1)},$$

де:

$$T_2 = \frac{1}{P_{a1}} = -\left(\frac{1}{-27,993}\right) = 0,03572;$$

$$T_4 = \frac{1}{P_{a2}} = -\left(\frac{1}{-39,991}\right) = 0,0250056;$$

або

$$W_{\beta\alpha}(p) = \frac{\tau_3 p(\tau_4 p + 1)}{(T_2 p + 1)(T_4 p + 1)} \tag{16}$$

де:  $\tau_3 = 0,020221234; \tau_4 = 0,37388$



Згідно (16) та рис.18 для реалізації передаточної функції зв'язку по заданій дії  $\alpha_{\omega}(t)$  необхідно отримати першу похідну від  $\alpha_{\omega}(t)$  (ланка  $\frac{\tau_2 p}{T_2 p + 1}$ ) та пропустити її через диференційну фазо випереджаючу ланку  $\left(\frac{\tau_4 p}{T_4 p + 1}\right)$ . Оскільки заданою дією системи являється фаза напруги  $\alpha(t) = \omega(t)t$ , то першою похідною від заданої дії буде частота напруги:

$$\frac{d\alpha(t)}{dt} = \omega(t)$$

В розглянутому випадку відхилення фази викликається відхиленням частоти  $\Delta\omega$ , через це за допомогою розімкненого каналу потрібно отримати напругу, пропорційну  $\Delta\omega$ . Таку напругу можна отримати за допомогою частотного дискримінатора, який настроєного на номінальну частоту задаючого генератора (поступаючих імпульсів). Функціональна схема зв'язку по задаючій дії зображена на рис.3.

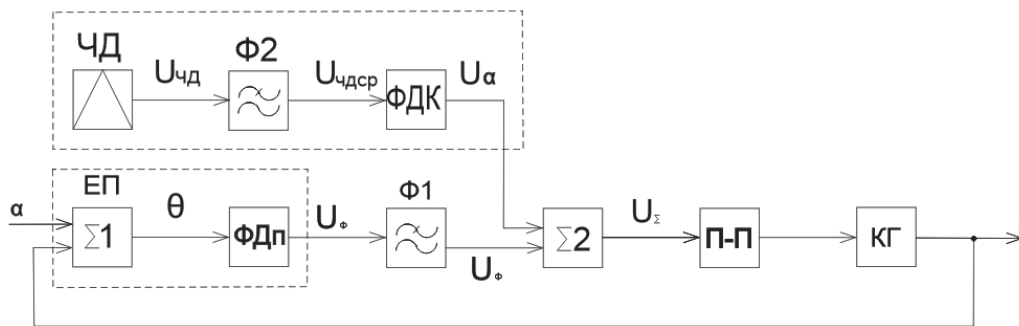
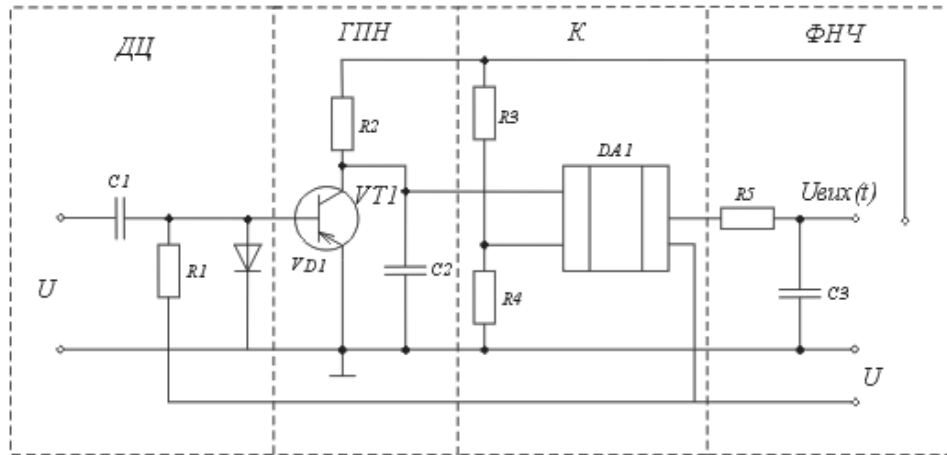


Рис. 3. - Функціональна схема зв'язку по задаючій дії

На вхід частотного дискримінатора (ЧД), включений фільтр (Ф), з виходу Ф сигнал поступає на диференційний фазо випереджаючий контур (ДФК) із передаточною функцією  $\left(\frac{\tau_4 p}{T_4 p + 1}\right)$ . В якості частотного дискримінатора вибираємо схему з компаратором [5], як найбільш просту в реалізації. Функціональна та принципова схеми зв'язані по задаючій дії з компараторним частотним дискримінатором зображені на рис. 3.4 та рис. 5 відповідно.



Рис. 4. - Функціональна схема ЧД

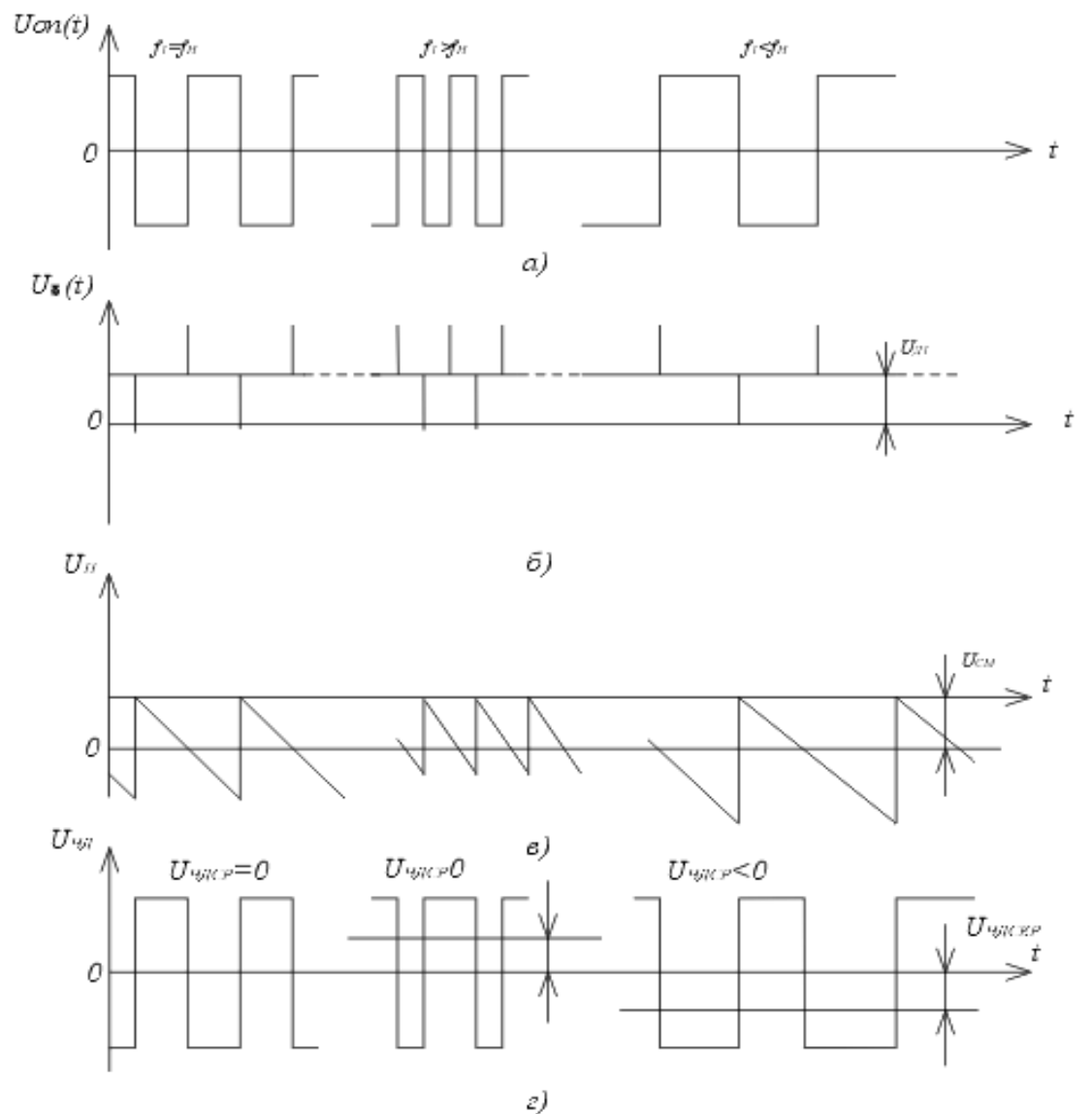


**Рис. 5.** - Принципова схема ЧД

Частотний дискримінатор (рис.5) складається із послідовно з'єднані диференціюючим колом ДК, генератора пилкоподібної напруги ГПН, компаратора К, фільтра НЧ. Диференційне коло складається із  $C1, R1$  та діода  $VD1$ , в генератор пилкоподібної напруги входять транзистор  $VT1$ , резистор  $R2$  та конденсатор  $C2$ . Компаратор вибраний на операційному підсилювачі  $DA1$  та містить дільник напруги, який складається із  $R3$  та  $R4$ . В якості ФНЧ використаний ємнісний фільтр, що складається із резистора  $R5$  та конденсатора  $C3$ . На вхід ЧД поступає послідовність прямокутних імпульсів напруги  $U_{оп}$  з кутовою частотою  $\omega_1$  (із частотою  $f_1$ ) (рис. 6 а).

Ця напруга диференціюється за допомогою кола  $R1, C1, VD1$ . Імпульси напруги  $U_d$  після ДК (рис. 6 б) поступають на вхід генератора пилкоподібної напруги – між базою та емітером транзистора  $VT1$ . У вихідному стані  $VT1$  закритий позитивною напругою, що знімається з виходу нелінійного дільника, побудованого на резисторі  $R1$  та діоді  $VD1$ . При цьому заряд конденсатора  $C2$  через резистор  $R2$  забезпечує формування прямого ходу пилкоподібної напруги  $U_{п}$  (рис. 6 в).

В момент слідування на базу негативного імпульсу,  $VT1$  відкривається і  $C2$  розряджається через колектор-емітер насиченого транзистора з малою постійною часу. Пилкоподібна напруга слідує на не інвертований вхід компаратора  $DA1$ , а на інвертований вхід подається негативна по знаку напруга зміщення  $U_{зм}$ , яка знімається із середньої точки дільника  $R3, R4$ . В момент, коли пилкоподібна напруга більша напруги зміщення, на виході  $DA1$  формується імпульс негативної полярності, а коли  $U_{п} < U_{зм}$  – формується імпульс позитивної полярності (рис. 6г).



**Рис. 6.** - Діаграми напруг ЧД

Тривалість позитивних та негативних імпульсів напруги  $U_{\text{ЧД}}(t)$ , а також полярність та значення постійної складової  $U_{\text{ЧДСР}}(t)$  цієї напруги залежить від частоти вхідної напруги та рівня напруги зміщення. Змінюючи  $U_{\text{ЗМ}}$  можна змінювати частоту настрійки  $f_H$  ЧД, при якій  $U_{\text{ЧДСР}} = 0$ . За допомогою  $U_{\text{ЗМ}}$  встановлюють  $f_H = f_0$ , де  $f_0$  – частота, на яку настроєний КГ за допомогою встановлення

$$\text{Якщо, } f_H = f_1, \text{ то: } U_{\text{ЧДСР}} = 0$$

$$f_H > f_1, \text{ то: } U_{\text{ЧДСР}} < 0$$

$$f_H < f_1, \text{ то: } U_{\text{ЧДСР}} > 0$$

Біполярна напруга прямокутної форми  $U_{\text{ЧД}}$  з виходу компаратора  $K$  згладжується (виділяється середнє значення напруги  $U_{\text{ЧДСР}}$ ) за допомогою фільтра  $R5, C3$ . Графік залежності вихідної напруги  $U_{\text{ВИХ}}$  фільтра від частоти  $f_1$  (статична характеристика ЧД) зображена на рис. 7.

Таким чином, ЧД перетворює відхилення частоти  $\Delta\omega$  в напругу  $U_{\text{ЧДСР}}(t)$ :

$$U_{\text{ЧДСР}}(t) = K_{\text{ЧД}} \Delta\omega(t) = K_{\text{ЧД}} \frac{d\alpha_{\Delta\omega}(t)}{dt},$$

тобто напруга  $U_{\text{ЧДСР}}(t)$  на виході ЧД являється першою похідною від заданої дії  $\alpha_{\omega}(t)$ . ФНЧ при цьому виділяє постійну складову (середнє значення) послідовних імпульсів. ФНЧ представлений аперіодичною ланкою. Таким чином, ЧД та ФНЧ реалізує передаточну функцію (16):

$$W_{\text{ЧДСР}}(p) = \frac{\tau_3 p}{T_2 p + 1},$$

відповідній першій ланці зв'язку по заданій дії.

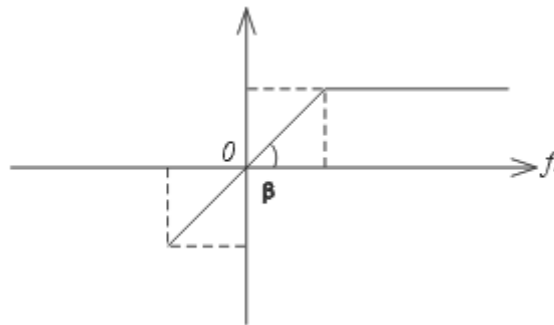


Рис. 7. - Статична характеристика ЧД

Передаточна функція другої ланки зв'язку  $\frac{\tau_4 p + 1}{T_4 p + 1}$  реалізується за допомогою фазо випереджаючого диференційованого RC – контуру ФДК, який складається із  $R6, C4$  та  $R7$ . Передаточна функція RC – контуру

$$W_K(p) = K_K \frac{\tau_4 p + 1}{T_4 p + 1},$$

де постійна часу по похідній  $\tau_4 = R6, C4$ ;

постійна часу відставання  $T_4 = \frac{R7}{R6 + R7} \cdot R6 C4$ ;  $K_K = \frac{R7}{R6 + R7}$ .

Напруга  $U_{\alpha}$  з виходу ФДК слідує на суматор  $\Sigma$  (рис.4). Принципова схема комбінованої СТС із зв'язком по заданій дії зображена на рис. 8.

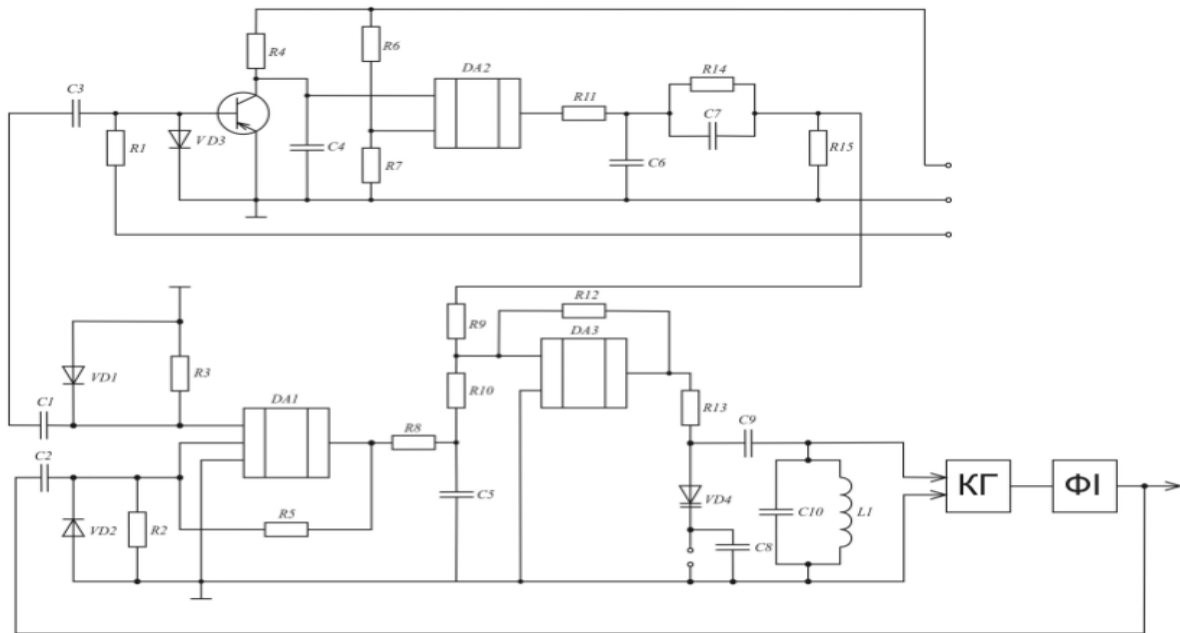


Рис. 8. - Принципова схема комбінованої СТС

Вона відрізняється від схеми існуючої системи (рис.1) тим, що введений розімкнутий зв'язок по заданій дії, принципова схема якої була розглянута раніше

Зв'язок по заданій дії, синтезована у відповідності з умовами компенсації повільно затухаючих, компонент перехідної складової помилки, зазвичай, впливає і на динамічні помилки системи.

Зробимо розрахунок динамічних помилок модернізованої – комбінованої СТС.

Згідно формули (69) передаточна функція комбінованої СТС для відхилення:

$$W_{\theta K}(p) = \frac{\theta_{aK}(p)}{\alpha_{\Delta\omega}(p)} = \frac{0,0018p^3 + 0,2179955p^2 + 6,39877p}{0,0018(p^3 + 121,095p^2 + 4730,1663p + 59456,123)} =$$

$$= \frac{0,0018p^3 + 0,2179955p^2 + 6,39877p}{0,0018p^3 + 0,217971p^2 + 85,143004p + 1070,2102},$$

звідси:

$$\theta_{aK}(p) = W_{\theta K}(p)\alpha_{\Delta\omega}(p)$$

Динамічні помилки СТС визначаємо за допомогою формули операційного визначення по кінцевому значенню функції.

$$\theta_{aK,BCI}(t) = \lim_{p \rightarrow 0} pW_{\theta K}\alpha_{\Delta\omega}(p)$$

При одиничній ступінчатій заданій дії (стрибок фази):

$$\alpha_{\Delta\omega}(t) = \alpha\Delta\omega_0, \alpha_{\Delta\omega}(p) = \frac{\alpha\Delta\omega_0}{p}$$

$$\theta_{aK,BCST}(t) = \lim_{p \rightarrow 0} p \frac{0,0018p^3 + 0,2179955p^2 + 6,39877}{0,0018p^3 + 0,2179955p^2 + 85,143004p + 1070,2102} \cdot \frac{\alpha\Delta\omega_0}{p} = 0$$

При зміні фази  $\alpha_{\Delta\omega}$  по лінійному закону  $\alpha_{\Delta\omega}(t) = \Delta\omega t$ ,  $\alpha_{\Delta\omega}(p) = \frac{\Delta\omega}{p^2}$ , що має місце при постійному відхиленню ( $\Delta\omega = const$ ) частоти опорної напруги від частоти настройки КГ,

$$\begin{aligned} \theta_{aK,BCST}(t) &= \lim_{p \rightarrow 0} p \frac{0,0018p^3 + 0,2179955p^2 + 6,39877}{0,0018p^3 + 0,2179955p^2 + 85,143004p + 1070,2102} \cdot \frac{\Delta\omega}{p^2} = \\ &= \frac{6,39877}{1070,2102} \cdot \Delta\omega = 0,059789854 \cdot \Delta\omega \end{aligned}$$

При  $\Delta f = 20 \text{Гц}$ , тобто  $\Delta\omega = 2\pi\Delta f = 6,28 \cdot 20 = 125,6 \frac{1}{c}$

$$\theta_{aK,BCST}(t) = 0,059789854 \cdot 125,6 = 7,596^\circ$$

Таким чином, оскільки існуюча та модернізована системи мають астетизм першого порядку ( $\nu=1$ ), то динамічні помилки цих систем при стрибку фази поступаючій послідовності імпульсів дорівнює нулю, а при відхиленні частоти  $\Delta\omega$  поступаючих на приймальний пункт імпульсів динамічні помилки пропорційні  $\Delta\omega$ . Отже в комбінованій системі ці динамічна помилки менші ніж в існуючій у:

$$\frac{\theta_{aBCST}(t)}{\theta_{aKBCST}(t)} = \frac{10,048}{7,596} = 1,34 \text{рази}$$

Звідси, в результаті модернізації – введення зв'язку по заданій дії – вдалось не тільки підвищити швидкодію СТС в 2,96 рази, а й також зменшити її швидкісну динамічну помилку в 1,34 рази.

### Висновок

На основі функціональної та принципової схем існуючої системи тактової синхронізації, в якій використовується принцип керування по відхиленню, отримана математична модель системи. В результаті аналізу математичної моделі встановлено, що система тактової синхронізації являється астатичною з астатизмом 1-го порядку по заданій дії і статичною відносно примусової дії – відхилення напруги живлення керуючого генератора. Показано, що в системі

виникає кінцева різниця фаз при постійному відхиленні частоти приймаючих посилок від частоти настройки керуючого генератора і різниця фаз, що збільшується при зміні відхилення частоти по лінійному закону. Розбіжність по фазі може призвести до приймання невірної інформації або перервати зв'язок. Методом логарифмічних частотних характеристик проведений аналіз стійкості системи тактової синхронізації, який показав, що система стійка, та має запас стійкості по фазі  $\gamma = 23^\circ$  і по амплітуді  $\sigma = 12\text{дБ}$ . Розрахунок кривої складової помилки виконаний на ПЕОМ показав, що крива перехідного процесу має коливальний характер визначений парою комплексно-спряжених коренів характеристичного рівняння системи, час перехідного процесу системи складає  $t_p = 0,8\text{с}$  і через це бажано його зменшити з метою підвищення швидкодії системи ТС.

Тривалість перехідного процесу існуючої системи в основному визначається її повільно затухаючої коливальної компонентної 1, відповідній парі комплексно-спряжених коренів характеристичного рівняння  $P_1$  і  $P_2$ , що мають малі по абсолютному значенню дійсні частини, які необхідно компенсувати. Через це покращення перехідного процесу (підвищення швидкодії) системи досягається компенсацією повільно затухаючої складової 1 перехідної складової помилки. Така компенсація виконана за допомогою введення в систему розімкнутого зв'язку по заданій дії – фази тактових імпульсів, тобто шляхом побудови комбінованої системи тактової синхронізації. Цей зв'язок не впливає на стійкість замкненої частини системи і через це її параметри можуть бути синтезовані із умов підвищення швидкодії не піклуючись про стійкість системи.

На основі математичної моделі отримані передаточні функції системи по помилці. Синтез зв'язку по заданій дії виконано в відповідності з умовами компенсації пари комплексно спряжених коренів характеристичного рівняння. Для реалізації цієї умови за допомогою зв'язку в систему вводиться перша та друга похідна від заданої дії. Виконано розрахунок кривої перехідного процесу комбінованої системи, із якої слідує, що час перехідного процесу став рівним  $t_{pk} = 0,27\text{с}$ , тобто він зменшився порівняно з існуючою системою (швидкодія системи збільшилась) в 2,96 рази, а замість коливального перехідний процес став аперіодичним.

Показано, що за допомогою зв'язку, синтезованого із умови погашення повільно затухаючої компоненти перехідного процесу, одночасно із швидкістю підвищується і динамічна точність системи. Неспівпадіння по фазі, викликане відхиленням частоти приймаючих посилок від частоти настройки керуючого генератора, зменшилось в 1,34 рази.

### Список використаних джерел

1. Зайцев Г.Ф., Стеклов В.К., Брицький О.Е. Теорія автоматичного управління. Під редакцією проф. Зайцева Г.Ф.. К.: Техніка, 2002. 688 с.
2. Зайцев Г.Ф., Радзивилов Г.Д., Градобоева Н.В. Суперечність між умовами мінімізації середньоквадратической помилки і квадратичної інтегральної оцінки в стежачих системах з принципом управління по відхиленню.// Проблеми управління інформатики: 2004. – №1. З. 48 – 59.
3. Пархомей І.Р. Рішення рівняння коливань у випадку резонансу опромінюючого радіосигналу і кристалічної структури радіо поглинаючої композитної речовини./ І.Р.Пархомей, А.Д. Лемешко// Міжвідомчий наук.-техн. зб. "Адаптивні системи автоматичного управління".- К.НТУУ "КПІ": 2011р.-№18(38).- с. 89 -92.
4. Зайцев Г.Ф., Радзивилов Г.Д. Мінімізація середньоквадратичної помилки стежачих систем за допомогою першої і другої похідних нестационарної задаючої дії.// Проблеми управління інформатики: 2004. – №6. З. 62 –72.
5. Зайцев Г.Ф., Булгач В.Л., Радзивилов Г.Д. Моделювання комбінованих стежачих систем при випадковій задаючій дії.// Проблеми управління інформатики: 2005. – №3. З. 27 –31.



## ВИВЧЕННЯ МОТИВАЦІЇ СЛУХАЧІВ ОНЛАЙН-КУРСІВ

*Анотація:* у статті подано аналіз мотиваційних чинників, які впливають на слухачів онлайн-курсів. Проаналізовано наявні методики тестування особистості, виокремлено індивідуально-психологічні мотиваційні чинники та мотиваційні елементи навчального процесу. Запропоновано концепцію визначення способів підвищення мотивації та збільшення коефіцієнта успішного завершення онлайн-курсів.

*Ключові слова:* індивідуально-психологічні критерії, коефіцієнт успішного завершення, метод аналізу ієрархій, методика тестування особистості, мотивація, мотиваційні чинники, онлайн-навчання, проєктивні методики.

### Вступ

Кількість онлайн-курсів на безкоштовних та платних навчальних платформах постійно збільшується. Станом на початок 2018 року по всьому світі в тому чи іншому вигляді існувало понад 7 мільйонів онлайн-курсів [1]. Потенційний студент не тільки не завжди розуміє, як правильно знайти курс та на чому зосередитись, а й до яких тем та лекцій повернутись, із ким проконсультуватись та як саме продовжити навчання за обраним напрямом. Особливо гостро така проблема виникає у майбутніх вступників до закладів вищої освіти, людей, які прагнуть змінити професію або обрати інший вектор професійних зацікавлень, у тих, хто не має можливості навчатись самостійно, у працевлагодівців та викладачів під час перевірки залишкових знань для того, щоб скерувати студента та співробітника правильно.

### Постановка задачі

За дослідженнями онлайн-навчання [2] для середньостатистичного масового відкритого онлайн-курсу нормальний коефіцієнт успішного завершення, що вираховується по формулі (1), складає близько 7-8%. Це свідчить про досить низьку мотивацію слухачів для завершення курсу, попри те, що вони вже зареєструвалися на курс за власним бажанням або на прохання керівництва/викладача, тобто від початку мали певний намір, бажання або мету вчитись.

$$K = \frac{Q_c}{Q_p} \cdot 100\%, \quad (1)$$

де  $K$  — коефіцієнт успішного завершення онлайн-курсу (з отриманням сертифікату),  $Q_c$  — кількість користувачів, що отримали сертифікат,  $Q_p$  — загальна кількість зареєстрованих користувачів.

Очевидно, що причини втрати мотивації до проходження курсів слухачами можуть бути пов'язані безпосередньо зі змістом курсу (суб'єктивне несприйняття викладача, незадоволеність матеріалами курсу, рівнем складності завдань тощо), з характером подачі матеріалу та побудови навчального процесу, а також зі змінами особистих планів самого користувача.

Можливості вплинути на особисті причини втрати мотивації до навчання немає, оскільки вони залежать від зовнішніх обставин. Однак впоратись із іншими перепонами, особливо технічного та організаційного характеру, було б можливо за умови використання індивідуального підходу до подачі матеріалу, часу проходження завдань, застосування різного роду нагадувань та заохочень до проходження тестів. Уникнути особистого складника можливо за умови визначення очікувань слухача від курсу, сфери його інтересів, певних особистісних характеристик ще до моменту підписки на конкретний курс.

### **Мета та завдання дослідження**

Метою поданого дослідження є вивчення мотиваційних чинників для слухача онлайн-курсів та способів підвищення мотивації конкретного студента. Мета дослідження передбачає вирішення таких завдань:

1. Аналіз наявних методик тестування особистості.
2. Аналіз наявних методик визначення мотиваційних чинників для слухача.
3. Виокремлення мотиваційних елементів навчального процесу.

Для поданого дослідження було проаналізовано 72 методики тестування мотиваційних чинників, що впливають на особистість, які можна використати для вдосконалення навчального процесу. Для кожної методики характерна наявність, як мінімум, двох різних форм для використання у системах тестування. Проаналізовані методики належать до різних галузей знань та професійного використання — психологічні та психіатричні тестування, загально наукові методики визначення зацікавленості, мотивації та інтелектуальних можливостей, клінічні медичні методики для визначення певних видів захворювань, які впливають на розумові здатності людини.

### **Аналіз методик вивчення особистості**

Проаналізовані методики розділено на такі підгрупи:

- методики аналізу мотивації та потреб особистості;
- методики діагностики інтелекту;
- методики діагностики уваги, пам'яті, мислення;

- проєктивні методики визначення особистості;
- індивідуально-психологічні критерії та методики;
- професійно орієнтовані методики.

На рівень мотивації потенційного студента впливають, в першу чергу, особистісні чинники — залежно від особистісних характеристик, людина буде схильна до постійного навчання протягом тривалого часу чи до короткострокових сесій, активувати процеси для неї будуть заохочувальні елементи чи, навпаки, елементи страху та втрати чого-небудь. Серед проаналізованих методик для поданого дослідження найважливішими є методики аналізу мотивації та потреб особистості власне для визначення впливу особистісних характеристик на мотивацію, проєктивні методики визначення особистості для виокремлення типу особистості, а також індивідуально-психологічні критерії та методики, які вивчають портрет людини та її індивідуальність.

**Індивідуально-психологічні критерії та методики** дають змогу проаналізувати особистість за такими критеріями: комунікаційні, емоційні, інтелектуальні, регулятивні, критерій інтернальності та екстернальності. Наприклад, методика багатфакторного дослідження особистості за Кеттелом (Sixteen Personality Factor Questionnaire) [3, 4] дає можливість виявити 16 незалежних характеристик особистості. Існує 6 основних форм, дитячий та дорослий варіант. Характеристики, які можливо виявити за допомогою цього тесту включають мрійність, емоційність, дипломатичність тощо. Метод суб'єктивного контролю особистості [5, 6] дає змогу виявити такі характеристики особистості, як родинні стосунки, досягнення, виробничі відносини тощо. Фрайбурзький особистісний питальник (Freiburg Personality Inventory) [7] визначає такі характеристики особистості: комунікаційні, поведінкові, емоційна стабільність. Методика Олдхема-Морріса призначена для визначення типу особистості та особистісних розладів. Самооцінювання Будассі [7, 8] визначає 50 первинних характеристик людини для самостійного опису позитивних та негативних якостей. Аналогічними є і Каліфорнійський психологічний питальник [9], тест визначення поведінки Томаса [10], шкала тривоги Спілбера [6] та стандартизований багатфакторний метод визначення особистості [11].

Водночас більшість **проєктивних методик визначення особистості** не дають можливості підтвердження результатів, чим викликають критику та постійні зміни у застосуванні. Оскільки це призведе до постійних змін у програмному забезпеченні та викривленню попередніх результатів, вважаємо можливість їх використання для онлайн-навчання обмеженою. Методики структурування [12, 13] (тест Зіверта, тест Роршаха, методика плям Хольцмана, тест

Цуллігера тощо) є варіаціями на тему однієї методики – класичного тесту Роршаха із використанням плям [12]. Методики інтерпретації (мальований апперцептивний тест, тест руки, тест Розенцвейга, тест Сонді тощо) засновані на підсвідомому та на виявленні тих характеристик особистості, які виявити складно. Такі відомості не потрібні для виявлення схильностей слухачів онлайн-курсів. Методики експресії [13, 14, 15] (психографічний тест Лібіна, тест Фрілінга, тест Люшера тощо) дозволяють визначити експресивне ставлення людини до світу, що може бути релевантним для онлайн-курсів творчого спрямування та для визначення реагування потенційного слухача на ті чи інші мотиваційні елементи. Методики доповнення (тест незакінчених речень Сакса-Леві [14], питальник термінальних цінностей, Індекс стилю життя, Q-класифікація тощо [17, 18]) частково базуються на тактильному контакті, визначають життєві позиції респондентів, що не завжди є релевантним для продуктивного онлайн-навчання. Головним виключенням серед представлених методик є Міннесотський багатоаспектний особистісний питальник [19], за яким можна виявити психотип особистості та її здатність до навчання, і хоча цей спосіб найчастіше використовується у психіатрії для діагностики психічних розладів, його можливо адаптувати для використання у навчальному процесі.

Розглянуті **методики аналізу мотивації та потреб особистості** містять тематичний апперцептивний тест (Thematic Apperception Test) [20], методику діагностики особистості на мотивацію до успіху Т. Елерса [21], діагностику потреби відчуттів М. Цукермана [22, 23], методику ціннісних орієнтацій М. Рокіча [22, 24], методику діагностики направлення особистості (питальник Смекала-Кучера, анкета Басса) та подібні [22, 23, 24, 25], які розширюють або скорочують вже згадані. Так, тематичний апперцептивний тест (Thematic Apperception Test) — проєктивна методика, яка використовує від 6 до 30 чорно-білих ситуативних картинок для виявлення особливості позиції особистості (дієва, споглядальна, пасивна); особливості інтерперсональних зв'язків (симпатії, антипатії, прив'язаності); провідних тенденцій поведінки; способів дії (способи організації дії, особливості практичного мислення, способи рішення життєвих задач); динамічного боку особистості (ритм її діяльності, емоційна лабільність, реактивність). Подання нагадує класичний тест Роршаха. Методика діагностики особистості на мотивацію до успіху Т. Елерса складається із 41 питання із простими відповідями «так» або «ні» для дослідження рівня схильності до ризиків. Ця методика у онлайн-навчанні може використовуватись для певних курсів, де важливим є саме складник ризику, в інших ситуаціях ризик і схильність до нього не впливають на мотивацію людини до навчання. Діагностика потреби відчуттів М. Цукермана вивчає необхідність людини в тих чи інших емоціях, допомагає

Міжвідомчий науково-технічний збірник «Адаптивні системи автоматичного управління» № 1' (32) 2018

діагностувати, до чого прагне людина, що для неї головне. Вивчення емоційного стану важливе для творчих спеціальностей, проте у загальному навчальному процесі зайва емоційність може ставати на заваді. Методика ціннісних орієнтацій М. Рокіча — спосіб прямого ранжування цінностей, які визначають ставлення людини до світу, оточення, мотивацію. Ця методика критикується фахівцями, оскільки залежить від самооцінки людини, яка проходить тестування, вона не завжди може бути адекватною. Може використовуватись лише після психологічного тестування. Методика діагностики направлення особистості (питальник Смекала-Кучера, анкета Басса) дозволяє визначити, до чого прагне людина, що для неї важливо. Тест складається з 30 питань, на кожне питання подається три відповіді, з яких має обрати респондент, що обмежує кількісні та якісні показники [26, 27].

### **Виокремлення чинників мотивації**

Чинники мотивації напряду залежать від потреб людини. За класичною пірамідою Маслоу, найголовнішими є потреби фізіологічного характеру, далі — потреба безпеки, необхідність любові та наявності близьких, соціальні потреби, визнання, повага, самореалізація [28, 29]. Отже, мотивація за допомогою самореалізації працювати буде для незначного відсотка потенційних слухачів курсів, а найкращими мотиваторами будуть можливості задовольнити фізіологічні потреби. Оскільки онлайн-навчання може допомогти замінити професію, а, отже, покращити матеріальне становище для задоволення фізіологічних потреб, то виявивши таких потенційних слухачів, їх можна мотивувати потенційними статками. Проте потенційність статків у майбутньому не буде виключним мотиватором для особистостей, які за психотипом прагнуть одержати матеріальний еквівалент. Таким еквівалентом може бути винагорода (наприклад, бонусні бали тощо), можливість доступу до нових рівнів курсів професійного спрямування (чим більше можна опанувати нових знань та одержати сертифікатів, тим більше шансів здобути кращу професію). У навчальному процесі мотиваційними чинниками можуть бути особистий схвальний відгук викладача, постійний зворотній зв'язок, підвищення або зниження рівня складності завдань відповідно до рівня потенційного студента тощо.

Проаналізовані методики дають змогу зробити висновок, що залежно від психотипу людини, потреб особистості, індивідуальних характеристик будуть змінюватись мотиваційні фактори. Так, людина, схильна до усамітнення та зосередження буде мотивована можливістю залишитись на самоті, відсутністю зайвих нагадувань зробити ту чи іншу роботу. Людина відкрита, із схильністю

переходити від завдання до завдання, не завершивши попереднє, краще буде мотивована постійними нагадуваннями та перевітками з боку керівництва чи викладача. Від психотипу людини також залежить спосіб мотивації — матеріальна або морально-психологічна винагорода, агресивні способи мотивування, можливість одержати доступ до нового циклу знань, вигреш тощо. Гейміфікація способу мотивування якнайкраще працює для людей із різними типами особистості, оскільки апелює до природних людських прагнень до змагань, які виховуються з дитинства.

Вибір одного з типів мотивації можна розглядати як задачу прийняття рішень, що може містити як кількісні, так і якісні критерії. Одним з головних методів для розв'язання таких задач є метод аналізу ієрархій (МАІ), що у простішому випадку розв'язує задачу шляхом декомпозиції головної проблеми на ієрархічну структуру з рівнем мети, рівнем критеріїв та рівнем альтернатив. Альтернативами будуть виступати способи мотивації людини, за критерії візьмемо психотип людини або індивідуально-психологічні характеристики, що визначаються шляхом первинного опитування. В цьому випадку парні порівняння кожного засобу мотивації для певного психотипу можна визначити на основі статистичних даних або визначити за допомогою експертних оцінок. Парні порівняння матриці критеріїв та відповідні індивідуальні засоби мотивації будуть визначені залежно від результатів первинного опитування (див. рис. 1).

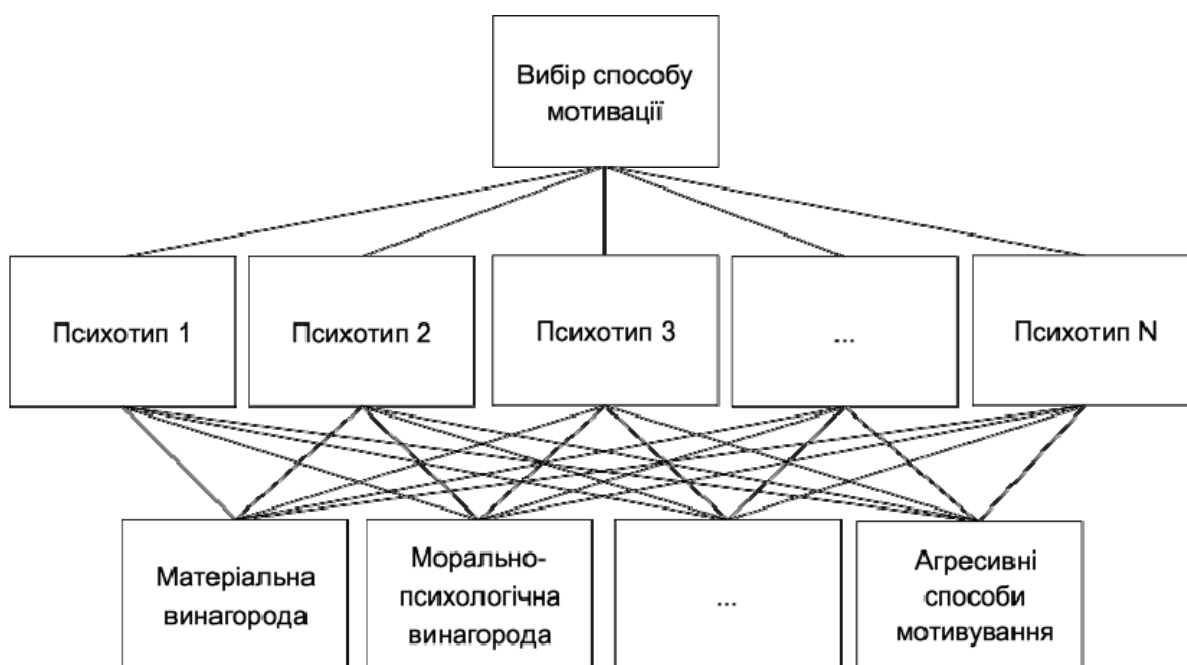


Рис. 1. Ієрархія вибору способу мотивації

Локальні пріоритети («ваги» альтернатив за критеріями) отримують, визначивши множину головних власних векторів для кожної з обернено симетричних матриць ієрархій та нормалізувавши результат.

Головний власний вектор  $x=(x_1, x_2, \dots, x_n)$  додатної квадратної матриці  $A$  обчислюють на підставі рівності  $Ax = \lambda_{max}$ , де  $\lambda_{max}$  — максимальне власне значення матриці  $A$ .

Для додатної квадратної матриці  $A$  правий власний вектор  $x$ , що відповідає максимальному власному значенню  $\lambda_{max}$ , обчислюється з точністю до постійного множника за формулою (2):

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \frac{A^k e}{e^T A^k e} = cx, \quad (2)$$

де  $k=1, 2, \dots$  — показник степеня;  $e=(1, 1, \dots, 1)^T$  — одиничний вектор;  $c$  — константа;  $T$  — знак транспонування. Власний вектор визначається за цією формулою до досягнення допустимої точності обчислень  $\varepsilon$ , заданої співвідношенням  $e^T |x^{(k)} - x^{(k+1)}| \leq \varepsilon$ , де  $k$  — номер ітерації. Із достатньою для практики точністю можна вважати, що  $\varepsilon=0,01$  незалежно від порядку матриці  $A$  [30].

Отримані вагові коефіцієнти способів мотивації за характерами психотипів формують матрицю вагових коефіцієнтів  $[A]$ , множення якої на вектор вагових коефіцієнтів важливості психотипів (лінійна згортка) дає глобальну вагу кожної з альтернатив. Визначивши кількість критеріїв, що дорівнює  $N$ , та кількість альтернатив, що дорівнює  $M$ , отримуємо (3):

$$[A] * B = \begin{bmatrix} w_1(Q_1) & w_1(Q_2) & w_1(Q_3) & \dots & w_1(Q_N) \\ w_2(Q_1) & w_2(Q_2) & w_2(Q_3) & \dots & w_2(Q_N) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_M(Q_1) & w_M(Q_2) & w_M(Q_3) & \dots & w_M(Q_N) \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} w_1(Q) \\ w_2(Q) \\ w_3(Q) \\ \dots \\ w_N(Q) \end{bmatrix}. \quad (3)$$

З опертям на отримані результати можна використовувати як найкращий спосіб мотивації для кожного окремого слухача, так і комбінацію із кількох способів у відповідній пропорції.

### Висновки

Завдяки всебічному тестуванню мотиваційних потреб особистості та індивідуальних психологічних характеристик можна виявити мотиваційні чинники конкретного слухача онлайн-курсів, заохотивши його до навчання. Мотиваційні чинники будуть не лише покращувати навчальний процес, а й допомагати аналізувати особистісні характеристики та способи покращення результатів окремого студента, тобто реалізовувати індивідуальний підхід до навчання незалежно від кількості слухачів онлайн-курсів, що досі було можливо лише для груп студентів або в межах цілого курсу (наприклад, наявність

сертифікатів одного і того самого курсу з різними рівнями — звичайний та підвищеної складності). Використання індивідуальних способів підвищення мотивації дозволить покращити якість навчального процесу та підвищити загальний показник успішного завершення курсів. Подальші дослідження різних методик тестування слухачів онлайн-курсів дадуть змогу визначити ключові критерії для використання, запропонувати способи реалізації та автоматизації процесу тестування, відштовхнувшись від індивідуалізації чинників.

### Список використаних джерел

1. History and Trends of Learning Management System // Oxigile infographics, 2016. Режим доступу: <https://www.oxagile.com/company/blog/history-and-trends-of-learning-management-system-infographics/>. Дата доступу: 28.02.2018 р.
2. Parr C. Mooc completion rates 'below 7%' // Times Higher Education. Режим доступу : <https://www.timeshighereducation.com/news/mooc-completion-rates-below-7/2003710.article#>. – Дата доступу: 08.04.2018.
3. Gregory R. Psychological Testing: History, Principles, and Applications (Sixth ed.). Boston: Allyn & Bacon, 2011. 672 с.
4. Cattell R., Eber H., Tatsuoka M. Handbook for the sixteen personality factor questionnaire (16 PF): in clinical, educational, industrial, and research psychology, for use with all forms of the test. Savoy: Institute for Personality and Ability Testing, 1970. 388 с.
5. Paunonen S., Ashton M. Big-five factors and facets and the prediction of behavior // Journal of Personality and Social Psychology. 2001. № 81. С.524-539.
6. Реан А.А. Практическая психодиагностика личности: Учеб. пособ.. СПб: Изд-во СПб ун-та, 2001. 224 с.
7. Ashton M. Personality and job performance: The importance of narrow traits // Journal of Organizational Behavior. 1998. № 19 (3). С.289-303.
8. Budassi S. Way to explore the quantitative characteristics of the individual in the group // Questions of psychology. 1971. № 3. С.138-143.
9. Soto C., John O. Using the california psychological inventory to assess the big five personality domains: A hierarchical approach // Journal of Research in Personality. 2009. № 43. С.25-38.
10. Тест описания поведения К.Томаса (адаптация Н.В.Гришиной) // Психологические тесты / Под ред. А.А.Карелина: В 2т. – М., 2001. – Т.2. С.69-77.
11. Собчик Л.Н. СМИЛ. Стандартизированный многофакторный метод исследования личности. СПб: Речь, 2009. 224 с.
12. Rorschach H. Psychodiagnostics: A Diagnostic Test Based on Perception (10th ed.). Cambridge: Hogrefe, 1998. 228 с.
13. McRenolds P. Advances in Psychological Assessment. San Francisco, California: Jossey-bass Inc., 1975. 245 с.



14. Пахомов А.П. Методика «Незаконченные предложения» Сакса-Леви как учебное пособие // Экспериментальная психология. Том 5. 2012. № 4. С.99-116.

15. Hersen M. Comprehensive Handbook of Psychological Assessment, Volume 2: Personality Assessment. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, 2004. 688 с.

16. Блейхер В.М., Крук И.В., Боков С.Н. Клиническая патопсихология: Руководство для врачей и клинических психологов. Москва-Воронеж: Московский психолого-социальный институт, 2002. 511 с.

17. A Report on the 40-Year Follow-Up of the Torrance Tests of Creative Thinking: Alive and Well in the New Millennium / B. Cramond та ін. // Gifted Child Quarterly. 2005. № 49. С.283-291.

18. Nijenhuis J., Vanderflie H. The correlation of g with attentional and perceptual-motor ability tests // Personality and Individual Differences. 2002. № 33 (2). С.287-297.

19. Schiele B. C., Baker A. B., Hathaway S. R. The Minnesota multiphasic personality inventory // Journal-Lancet. 1943. №63. С. 292–297.

20. Aronow E., Weiss K., Reznikoff M. A practical guide to the thematic apperception test : the T.A.T. in clinical practice. Philadelphia, PA: Brunner-Routledge, 2001. 121 с.

21. Шадриков В.Д. Диагностика познавательных способностей: методики и тесты. Москва: Академический проект, 2009. 533 с.

22. Hale M. Human Science and Social Order. Hugo Münsterberg and the Origins of Applied Psychology. Philadelphia: Temple University Press, 1980. 239 с.

23. Jacobs R., McClelland D. Moving up the corporate ladder: A longitudinal study of the leadership motive pattern and managerial success in women and men // Consulting Psychology Journal: Practice and Research. 1994. № 46 (1). С.32-41.

24. Климов Е.А. Индивидуальный стиль деятельности в зависимости от типологических свойств нервной системы. Казань: Издательство Казанского университета, 1969. 280 с.

25. Литвинов А.В. Сборник психологических тестов: психологические тесты для деловых людей. Москва: ВЛАДОС, 1994. 156 с.

26. Моросанова В.И., Сагиев Р.Р. Диагностика индивидуально-стилевых особенностей саморегуляции в учебной деятельности студентов // Вопросы психологии. 1994. № 5. С.135-140.

27. Трофімов Ю.Л. Психологія: Підручник для студентів вищих навч. закладів. Київ: Либідь, 2001. 560 с.

28. Maslow A.H. A theory of human motivation // Psychological Review. 1943. № 50 (4)ю С. 370–96.

29. Ильин Е.П. Мотивация и мотивы. СПб: Питер, 2002. 512 с.

30. Катренко А.В., Пасічник В.В., Пасько В.П. Теорія прийняття рішень. Підручник для вищих навчальних закладів. Київ: Видавнича група ВНУ, 2009. 448 с.

УДК 621.865.8

М. Н. Полищук

## **СПОСОБ МУЛЬТИПЛИКАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УСИЛИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО РОБОТА**

*Аннотация:* Предложен способ мультипликации рабочих усилий технологических модулей промышленных роботов. В отличие от классического способа мультипликации усилия с применением пневмогидравлических приводов, предложено принципиально новое решение на основе движущейся гидравлической камеры, что позволяет за счет разделения холостого и рабочего ходов инструментов существенно повысить производительность выполнения силовых технологических операций.

*Ключевые слова:* пневматические и гидравлические усилители, технологические модули промышленных роботов, прессовое оборудование

### **Вступление**

Мультипликаторы технологического усилия иногда называют пневмогидравлическими преобразователями, служащими для многократного увеличения силы на штоке пневматического (или иного) привода в результате преобразования низкого давления сжатого воздуха в высокое давление жидкости. Предлагаемый привод эффективен, когда требуется, используя быстродействие привода холостого хода, многократно (в десятки раз) увеличить силу рабочего инструмента, в том числе и установленного на руке робота. Например, при выполнении таких технологических операций как запрессовка, развальцовка, прошивка, точечная сварка и других силовых операций.

### **Анализ исследований и публикаций**

Классический способ [1] мультипликации усилия технологического привода, основанный на преобразовании низкого давления сжатого воздуха силового цилиндра в высокое давление жидкости, обладает низкой скоростью перемещения рабочих органов технологического оборудования. Известные, так называемые, гидравлические трансформаторы давления [2, 3, 4], позволяют повысить быстродействие привода, поскольку прохождение дистанции холостого хода осуществляется за счет действия пневматического привода второй ступени. Однако этот процесс сопровождается гидравлическим трением, а значит торможением пневматического привода. Иначе говоря, снижается быстродействие пневмогидравлического привода вследствие ограничения по скорости гидравлического потока, что является существенным недостатком указанных технических решений.

---

© М. Н. Полищук

Таким образом, задача повышения быстродействия пневмогидравлического мультипликатора по-прежнему остается актуальной. Кроме того, для промышленных роботов крайне желательно использование не только пневматического, но и других типов приводов, например, наиболее популярного электромеханического.

### Постановка задачи

Необходимо повысить быстродействие мультипликатора рабочего усилия, исключив при этом влияние гидравлического трения на скорость перемещения привода холостого хода, т.е. привода подвода инструмента к рабочей зоне, обеспечив при этом многократное (в десятки раз) увеличение технологического усилия выполняемой операции, а именно когда:

$$F_p \gg F_x \text{ или } F_p = kF_x, \quad (1)$$

где:  $F_\delta, F_\delta$  – соответственно усилие рабочего и холостого перемещения инструмента;  $k$  – коэффициент усиления, как правило,  $k = 20 \dots 30$ , необходимо обеспечить выполнение условия высокой производительности операции:

$$V_x \gg V_p \text{ при } L_x \gg L_p, \quad (2)$$

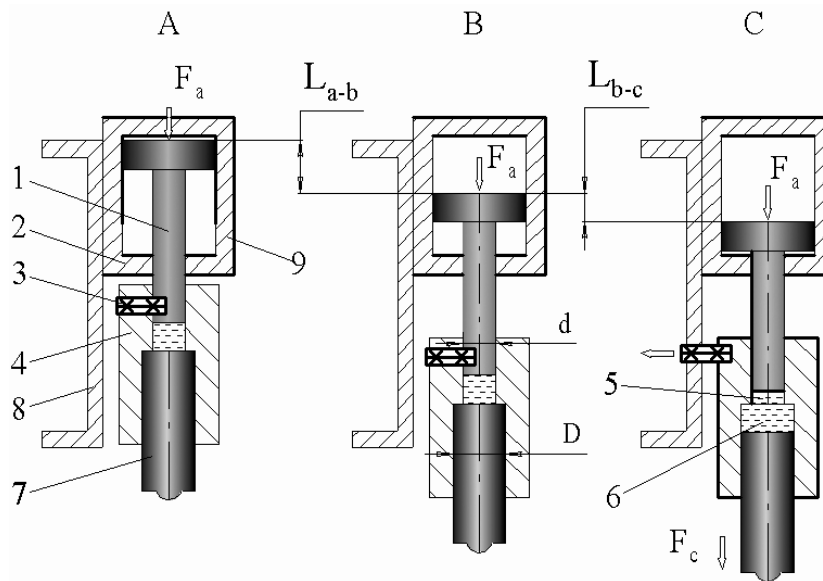
где:  $V_\delta, V_\delta$  – скорость перемещения инструмента на участках холостого и рабочих ходов, соответственно;  $L_\delta, L_\delta$  – величины холостого и рабочего перемещений.

### Способ мультипликации технологического усилия

Поставленная задача решена принципиально новым способом, а именно: емкость с жидкостью перемещают усилием, подлежащим мультипликации, до момента времени или до точки в пространстве приложения рабочего усилия, т.е. на величину холостого хода. После чего емкость фиксируют относительно неподвижного корпуса манипулятора или другого оборудования. По окончании процесса мультипликации усилия (т.е. времени действия рабочего усилия) при возврате в исходное положение производят фиксацию указанной емкости с жидкостью относительно ведущего звена привода, исключив предварительно фиксацию относительно неподвижного корпуса (основания).

Для реализации нового способа гидравлический цилиндр мультипликатора усилия выполнен в виде подвижной герметичной камеры, снабженной фиксирующим устройством, поочередно осуществляющим кинематическую связь как относительно ведущего звена привода, так и относительно неподвижного корпуса привода.

На рис. 1 показаны три стадии реализации способа мультипликации усилия: А — исходное положение; В — стадия холостого хода; С — стадия рабочего хода, т.е. собственно мультипликации усилия.



**Рис. 1.** Способ мультипликации технологического усилия

В исходном положении ведущее звено мультипликатора усилия, например шток 1 пневматического цилиндра 2, фиксируют устройством 3 относительно подвижной гидравлической камеры 4, имеющей полости низкого давления 5 и высокого давления 6, образованные стенками подвижной камеры 4 и торцами ведущего звена 1 и ведомого звена 7. Далее, на этапе «В» подают сжатый воздух в поршневую полость пневмоцилиндра 9, в результате чего усилием  $F_a$ , подлежащим мультипликации (т.е. многократному увеличению) перемещают ведущее звено 1 и подвижную камеру 4 на величину холостого хода  $L_{a-b}$ . При этом, жидкая среда (например, машинное масло) остается в полости меньшего сечения 5. При достижении ведомого звена 7 объекта обработки устройством 3 фиксируют камеру 4 относительно неподвижного корпуса 8. На следующем этапе «С» — рабочего хода, ведущим звеном 1 вытесняют жидкую среду из полости меньшего сечения 5 в гидравлическую полость большего сечения 6. В результате чего, происходит мультипликация рабочего усилия до значения  $F_c = F_a (D/d)^2$ , где:  $D$  — диаметр поршня гидроцилиндра, т.е. ведомого звена 7;  $d$  — диаметр штока пневматического цилиндра, т.е. ведущего звена 1. Усилием  $F_c$  осуществляют технологическую операцию (например, клепку, вырубку, чеканку и т.п.).

#### **Расчет параметров мультипликатора**

Методика расчета параметров мультипликатора технологического усилия состоит в следующем. Первоначально рассчитывают необходимый коэффициент усиления  $k$ :

$$k = \left( \frac{D}{d} \right)^2, \quad (3)$$

где:  $D, d$  – диаметр поршня гидроцилиндра, т.е. ведомого звена, и диаметр штока пневматического цилиндра, т.е. ведущего звена, соответственно.

Технологическое усилие  $F$  выполнения операции составит:

$$F = \frac{\pi D_1^2}{4} p_1 \left( \frac{D}{d} \right)^2 K_1 K_2 K_3, \quad (4)$$

где:  $D_1$  – диаметр поршня пневматического цилиндра;  $p_1$  – давление сжатого воздуха в пневматической камере ведущего привода;  $K_1$  – объемный к.п.д. привода ( $K_1 = 0,95$ );  $K_2$  – механический к.п.д. мультипликатора ( $K_2 = 0,95$ );  $K_3$  – механический к.п.д. гидроцилиндра ( $K_3 = 0,9$ ).

Давление жидкости  $p_2$  в рабочем цилиндре мультипликатора:

$$p_2 = p_1 \left( \frac{D}{d} \right)^2. \quad (5)$$

Ход штока  $L$  пневматического цилиндра на этапе выполнения технологической силовой операции:

$$L = l \left( \frac{D}{d} \right)^2 \frac{n}{K_1}, \quad (6)$$

где:  $l$  – необходимое перемещение штока гидравлического цилиндра для выполнения технологической операции;  $n$  – количество гидравлических цилиндров (если таковых несколько).

Расход  $V$  сжатого воздуха за один полный цикл перемещений рабочего инструмента:

$$V = \frac{\pi D_1^2}{4} (L + L_x), \quad (7)$$

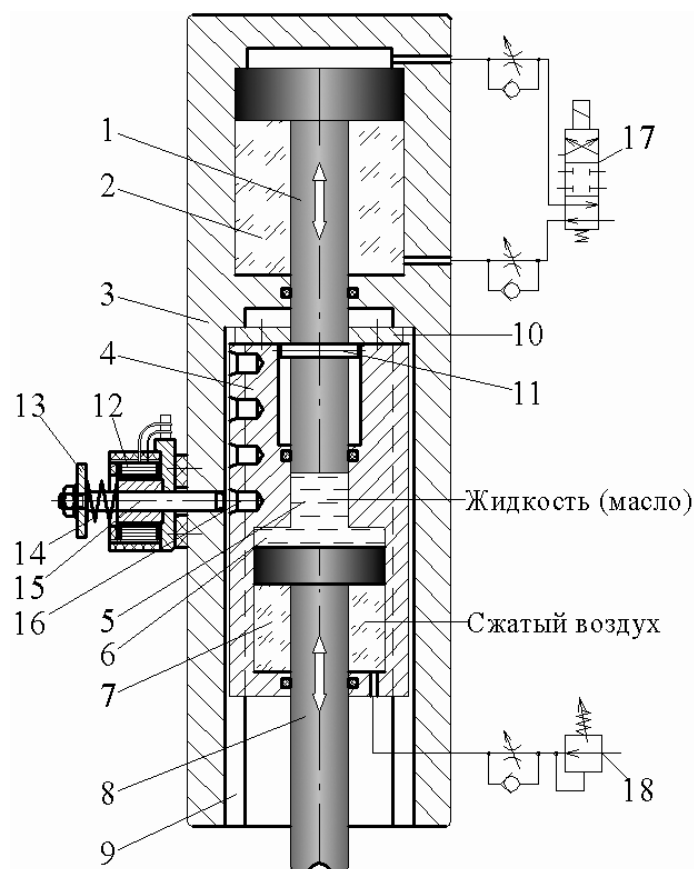
где:  $L_x$  – величина холостого хода инструмента на этапе его подвода к рабочей зоне. Последний параметр показывает, что на этапе холостого хода мультипликация усилия не осуществляется, что существенно способствует повышению производительности работы технологического модуля.

### **Устройство для осуществления способа мультипликации усилия**

Устройство для осуществления выше описанного способа работает следующим образом (рис. 2).

В исходном положении мультипликатора в штоковой полости пневматического цилиндра 2 и полости 7 создается давление сжатого воздуха. Благодаря чему ведомое звено — шток 8 через жидкую среду, размещенную в полости 5, прижимает через штифт 11 ведущее звено шток 1 к крышке 10 камеры 4, расположенной в направляющих 9. Таким образом, осуществляется фиксация подвижной камеры 4 относительно ведущего звена мультипликатора штока 1.

Далее через пневмораспределитель 17 штоковая полость цилиндра 2 соединяется с атмосферой, а в его поршневую полость подается сжатый воздух.



**Рис. 2.** Модуль мультипликации технологического усилия

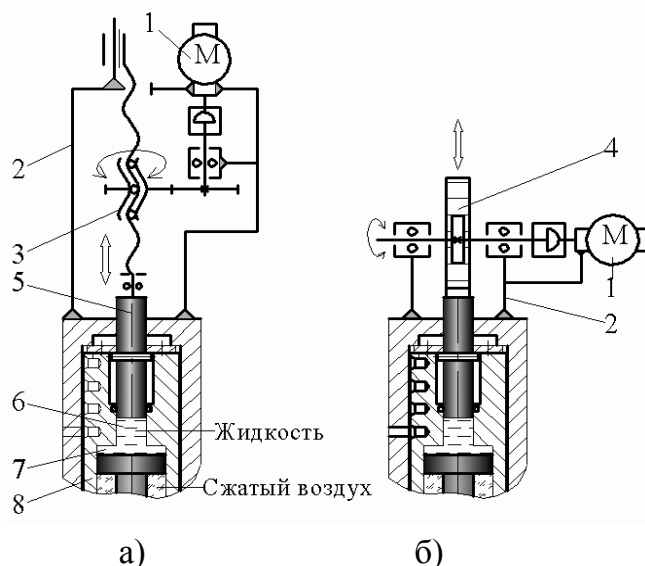
В результате происходит перемещение ведущего звена мультипликатора — штока 1 с гидравлической камерой 4 относительно неподвижного корпуса 3, т.е. осуществляется холостой ход мультипликатора, а именно: скоростной подвод штока 8 с установленным на нем технологическим инструментом к объекту обработки.

При достижении штока 8 объекта обработки (т.е. по окончании холостого хода) включается электромагнит 12, который, преодолевая усилие пружины 14, притягивает к себе ярмо 13, и тем самым вводит фиксатор 15 в одно из отверстий 16. Происходит фиксация подвижной камеры 4 относительно неподвижного корпуса 3. Одновременно пневмоклапан 18 соединяет полость 7 с атмосферой для стравливания из нее сжатого воздуха. При дальнейшем перемещении штока 1 происходит вытеснение жидкости (машинного масла) из полости меньшего сечения 5 в полость большего сечения 6, т.е. происходит мультипликация рабочего усилия, необходимого для выполнения технологической операции. По окончании последней отключают электромагнит 12, фиксатор 15 под дейст-

вием пружины 14 выходит из отверстия 16, тем самым освобождая камеру 4 от фиксации с неподвижным корпусом 3. После чего, подачей сжатого воздуха через клапан 18 в полость 7 и возврата жидкости из полости 6 в полость 5, снова фиксируют камеру 4 относительно ведущего звена мультипликатора — штока 1, упирая штифт 11 в крышку 10. А после стравливания сжатого воздуха через пневмораспределитель 17 из поршневой полости и создания давления в штоковой полости цилиндра 2 шток 1 (ведущее звено), камера 4 и шток 8 (ведомое звено) с технологическим инструментом возвращаются в исходное положение. Далее цикл повторяется.

Таким образом, благодаря наличию подвижной гидравлической камеры и возможности ее поочередной фиксации относительно как ведущего звена на стадиях холостого хода мультипликатора, так и относительно неподвижного корпуса на стадии выполнения технологической операции, предоставляется возможным существенно повысить быстродействие и расширить технологические возможности мультипликатора усилия.

Для использования модуля в качестве технологического оснащения промышленных роботов целесообразно применить гибко программируемый электромеханический привод. А именно, привод первой ступени мультипликатора в виде пневматического цилиндра 2 (рис. 2) может быть заменен на электромеханический привод 1 (рис. 3), установленный на неподвижном корпусе 2 и снабженный шариковинтовой 3 (рис. 3, а) или с зубчато-реечной передачей 4 (рис. 3, б).



**Рис. 3.** Варианты электромеханического привода мультипликатора усилия:  
а) с винтовой передачей; б) зубчато-реечной передачей

Здесь возможно применение любой другой передачи, сообщающей ведущему звену 5 мультипликатора поступательное движение для вытеснения жидкости из полости меньшего сечения 6 в полость большего сечения 7 подвижной гидравлической камеры 8. Поскольку указанный электромеханический привод может быть оснащен цифровой или аналоговой системой управления, то в последних двух исполнениях предоставляется возможность задания произвольных по величине ходов ведущего звена мультипликатора. Такие решения только способствуют расширению технологических возможностей устройства для осуществления заявляемого способа мультипликации усилия.

### Выводы

1. Предложенный метод мультипликации технологического усилия, благодаря наличию подвижной гидравлической камеры и возможности ее поочередной фиксации относительно как ведущего звена на стадиях холостого хода мультипликатора, так и относительно неподвижного корпуса на стадии выполнения технологической операции, предоставляет возможность существенно повысить быстродействие и расширить технологические возможности мультипликатора усилия.

2. Техническая реализация нового способа допускает модификации приводов, что способствует применению предложенного способа в различных областях промышленного производства.

### Литература

1. Краткий справочник металлиста / [авт. кол.: А. Н. Малов, А. И. Якушев, В. П. Законников и др.], – М.: «Машиностроение», 1971. – с. 232, табл. 33.
2. Патент US 5381661 МПК F15B 7/00. Гидравлический трансформатор давления (Hydraulic pressure transformer); заяв. 02.07.1993, опубл. 17.01.1995.
3. Патент EP 0579037 МПК F15B 3/00, F15B 11/06. Гидропневматический усилитель давления (Hydropneumatic pressure intensifier); заяв. 30.06.1993, опубл. 19.01.1994.
4. Патент US 5377488 МПК F15B 7/00. Гидропневматический трансформатор давления (Hydro-pneumatic pressure transformer); завл. 02.07.1993, опубл. 03.01.1995.



## ПРЕИМУЩЕСТВА ОТКРЫТОГО JSONWEBTOKEN ДЛЯ УПРОЩЕНИЯ ДОСТУПА В КЛИЕНТ-СЕРВЕРНЫХ ПРИЛОЖЕНИЯХ

*Аннотация:* в статье приведены основные механизмы работы открытого стандарта токенов доступа JsonWebToken (JWT) для получения доступа в веб приложениях. Показан общий принцип работы создания токенов, их проверки и аутентификации. Описаны преимущества данного стандарта доступа при аутентификации.

*Ключевые слова:* JWT, JSON, токен, авторизация, доступ, аутентификация, стандарт.

### Введение

JSON Web Token является стандартом RFC 7519, ответственный за создание так называемых токенов аутентификации, использующий в качестве основы формат JSON. Данный стандарт применяется при передаче аутентификационных данных[2] в вебпрограммах.

В веб программах в качестве аутентификации клиента на сервере самым широко используемым способом было использование идентификатора сетевой сессии. ограниченной по времени, который передавался в файлах cookies или непосредственно в адресной строке. Такой метод работы именуется sliding expiration.

Однако с данным способом связано множество осложнений и уязвимостей. Использование для хранения данных по аутентификации сессии на сервере усложняет масштабирование сервисов. Куки же в свою очередь поддаются перехвату и подмене при условии использования незашифрованного соединения с сервером. Особую опасность представляют общественные точки доступа Wi-Fi с отсутствием SSL. К тому же, с помощью куков довольно легко провести процесс деанонимизации[1] и дешифрования действий пользователя на сайте. Они крайне уязвимы к мошенническим действиям типа подмены, кражи при помощи «снифферов» и всевозможных уязвимостей браузеров клиентов. Популярные браузеры дают пользователям возможность обойтись без использования куков, но в таком случае некоторые сайты для них будут недоступны.

Сейчас разработчики все меньше используют идентификатор сетевой сессии, занимаясь поиском аналогичных вариантов аутентификации. Наиболее оптимальным из них является JSON Web Token (JWT) — технология, содержащая внутри себя все зашифрованные данные для аутентификации и авторизации[3]. Технология является самодостаточной, так что хранение данных пользователя излишне.

Сейчас разработка переходит на одностраничные web-приложения (SPA) и использует обращения серверу при помощи API. То же самое API используется в мобильных приложениях. Мощный тренд использования микросервисов накладывает требования на масштабирование сервисов и заставляет отказываться от хранения данных, в том числе аутентификационных, на стороне сервиса непосредственно в сессии.

Для унифицирования процесса аутентификации используются токены доступа. Стандарт JWT является стандартом для токенов доступа.

Сперва происходит запрос доступа у серверной части через высылку аутентификационных данных в виде токена. Сервер высылает токен доступа с имеющимся сроком действия. Полученный токен открывает доступ к ресурсам на сервере ресурсов. В случае окончания действия токена необходимо провести дополнительную процедуру аутентификации.

Состав и строение JWT довольно просты, что позволяет использовать данный стандарт во всех местах, где требуется аутентификация и авторизация, не требуя дополнительных затрат, времени и ресурсов. Данный стандарт имеет широкий уровень поддержки и сопровождения.

В состав JWT – токена входят три части: заголовок, полезная нагрузка и цифровая подпись, включающая данные алгоритма защиты токена. Первые две части представляют собой JSON-объекты [2] соответствующего строения. Последняя часть вычисляется с использованием первых двух и основывается на избранном алгоритме шифрования. Также токены можно перекодировать в более емкий вид. Для этого к первым двум частям необходимо применить шифрование Base64-URL. Далее происходит процесс добавления цифровой подписи и разделения всех трех элементов символами точки.

Ниже представлен пример JWT – токена:

```
{
  "alg": "HS512",
  "typ": "JWT"
}
{
  "sub": "12345",
  "name": "John Gold",
  "admin": true
}
```

Зашифрованное представление данных выглядит следующим образом (переводы строки добавлены для наглядности):

```
eyJhbGciOiJIUzUxMiIsInR5cCI6IkpzZW50L3plYXN0Ij09eyJmcmVhdCI6ImlzbnVkeSIsImVudCI6ImlzbnVkeSIsImF1dG8iOiJ1cm9kaWVzIiwiaWF0IjoiMTYxMjM0NTY3In0=
```

LIHjWCBORSWMEibq-tnT8ue\_deUqZx1K0XxCOXZRrBI

Взаголовке указана необходимая информация, описывающая сам токен.

Обязательный ключ в одном экземпляре. Таким образом, исключается двусмысленность трактования выходной информации и возможность подмены ключевых элементов для вскрытия и расшифровки защищенной информации третьими лицами. В теле JWT может быть указан один из нескольких параметров, отвечающий за поведение токена.

Параметр alg – вид алгоритма, используемого для подписи/шифрования (в случае не указания в JWT используется значение "none").

Параметр typ – указанный тип токена (type). Необходим, когда токены смешиваются с другими объектами, имеющими JOSE заголовки. Должен иметь значение "JWT".

Параметр ctty – указанный тип содержимого (contenttype). Если внутри токена кроме служебных ключей присутствуют пользовательские, то данный ключ должен отсутствовать. В противном случае должен иметь значение "JWT".

В части полезной нагрузки указывается информация о самом пользователе (имя пользователя и уровень его доступа), также используются дополнительные служебные ключи. Все они являются необязательными:

Параметр iss обозначает регистрационную строку или URI, уникальный идентификатор стороны, генерирующей токен (issuer).

Параметр sub представляет собой чувствительную к регистру строку или URI, представляющую уникальный идентификатор стороны, о которой содержится информация в данном токене (subject). Значения с этим ключом обязаны быть уникальными в контексте стороны, ответственной за генерацию JWT.

Параметр aud указывает список получателей данного токена. При приеме принимающей стороны получает JWT с данным ключом, он должен проверить наличие самого себя в получателях - иначе токен будет проигнорирован (audience).

Параметр exp обозначает время в формате Unix Time, определяющее момент, когда токен станет не валидным (expiration).

Параметр nbf обозначает в противоположность ключу exp, это время в формате Unix Time, определяющее момент, когда токен станет валидным (not before).

Параметр jti обозначает строку, определяющую уникальный идентификатор данного токена (JWT ID).

#### **Access и refresh токены**

Access-токен - это токен, который предоставляет доступ его владельцу к защищенным ресурсам сервера. Обычно он имеет короткий срок жизни и может нести в себе дополнительную информацию, такую как IP-адрес стороны, запрашивающей данный токен.

Refresh-токен - это токен, позволяющий клиентам запрашивать новые access-токены по истечению их времени жизни, при чем не требуя у пользователя вводить логин и пароль. Данные токены обычно выдаются на длительный срок.

### Схема работы

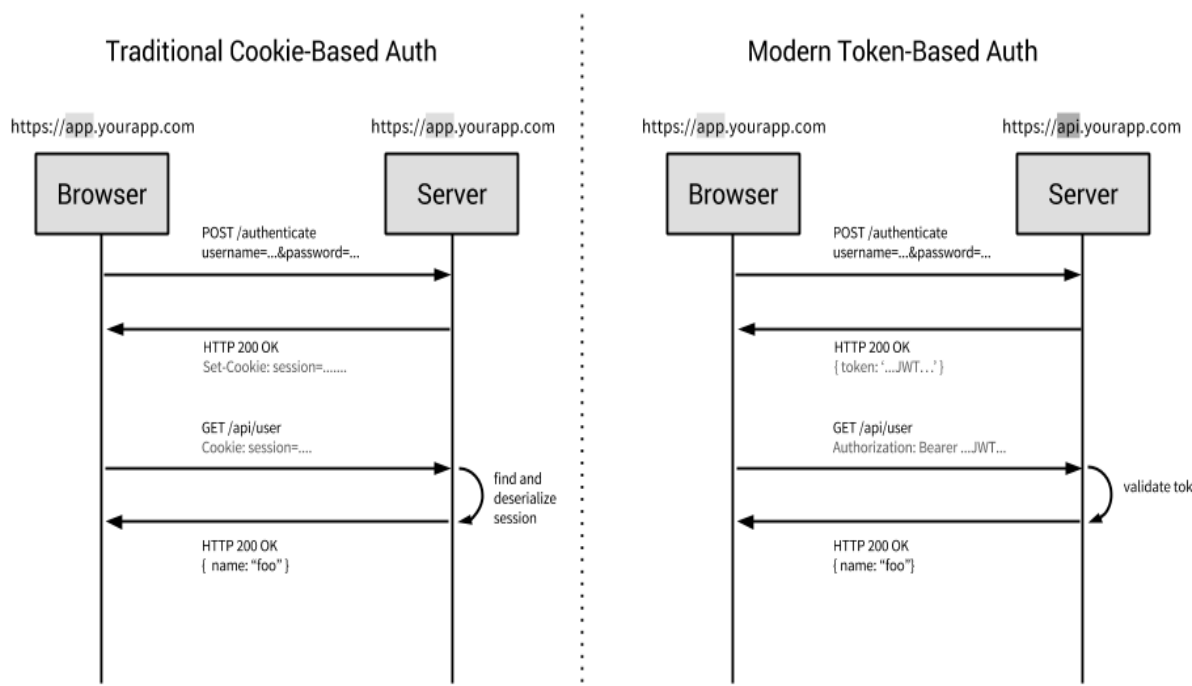
Как правило, при использовании JSON токенов в клиент-серверных приложениях реализована следующая схема.

Клиент проходит аутентификацию в приложении (к примеру, с использованием логина и пароля). В случае успешной аутентификации сервер отправляет клиенту access- и refresh-токены[3]. При дальнейшем обращении к серверу, клиент использует access-токен. Сервер проверяет токен на валидность и предоставляет клиенту доступ к ресурсам. В случае, если access-токен становится не валидным, клиент отправляет refresh-токен, в ответ на который сервер предоставляет два обновленных токена. В случае, если refresh-токен становится не валидным, клиент опять должен пройти процесс аутентификации.

### Преимущества

JWT имеет ряд преимуществ над другими способами аутентификации и авторизации, благодаря чему его применение будет весьма эффективным по сравнению с другими.

Снижается нагрузка на сервер – при использовании JWT от сервера теперь не требуется хранить дополнительных данные о сессии пользователя. Также, сервер может не заниматься созданием токенов, а предоставить это внешним сервисам.



**Рис. 1.** – сравнение аутентификации с помощью идентификатора сессии в Cookie и JWT

В JSON токенах можно хранить дополнительную полезную информацию о пользователях.

JWT делает возможным предоставление одновременного доступа к различным доменам и сервисам.

Ниже будет приведена сравнительная характеристика использования JWT и Cookies.

Таблица 1

**Преимущества JWT в сравнении с Cookies**

<b>JWT</b>	<b>Идентификатор сессии в Cookies</b>
Сервер взаимодействует с JWT-токеном при авторизации, не требуя личных данных клиента.	При входе на сервер пользователь обязан оставить свои аутентификационные данные.
Информация о сессии и клиенте не используется сервером. Сервер получает всю информацию с помощью токена.	Информация о сессии и клиенте обязана храниться на сервере.
При наличии валидного токена технология совместного использования ресурсов работает.	Не поддерживает технологию CORS (совместное использование ресурсов разными доменами).
В токене JWT возможно хранить любой тип метаданных, пока он поддерживается форматом JSON	В cookies хранится лишь индекс текущей сессии клиента
Целиком и полностью подходят для использования в «Интернете вещей»	Не подходят для «Интернета вещей», если не создан концепт работы куков для каждого устройства в сети.
Весьма короткий срок «жизни» с возможностью его регулирования, что минимизирует возможности его перехвата в долговременной перспективе.	Срок жизни весьма долгий, что вместе с предыдущими недостатками приводит к частым случаям их кражи и использования в мошеннических целях

**Возможные атаки**

Не будет лишним указать возможные способы атаки на стандарт JWT. Токен имеет в своем составе три части, которые могут существовать независимо друг от друга. Таким образом, появляется возможность изъять цифровую подпись из токена и сменить заголовок, оставив токен без подписи. Если сервер не снабдили проверкой на наличие подписи у входящего токена, то мошенники имеют возможность указать другие значения в полезной нагрузке. Проблема решается путем отбрасывания неподписанных объектов.

CSRF (CrossSiteRequestForgery, межсайтова подделка запросов). Одним из наиболее часто используемых методов борьбы с CSRF является добавление специальных заголовков, содержащих зашифрованную информацию, составляющую подтверждение отправки запроса через доверенный сервер. Таким образом, если JWT используется не в качестве cookie, возможность CSRF атаки минимальна [3].

XSS (Cross-Site Scripting). Токены могут храниться в браузере двумя способами: в DOM-хранилище или в куках. В первом случае система может быть подвержена XSS атаке, т.к. JavaScript имеет доступ к DOM-хранилищу и злоумышленник может извлечь оттуда токен для дальнейшего использования от имени пользователя. При использовании куки можно выставить HttpOnly флаг, который предотвращает доступ JavaScript к хранилищу. Таким образом, злоумышленник не сможет извлечь токен и приложение становится защищенным от XSS.

Подписанные JSON токены описываются JWS спецификацией (RFC 7515).

#### **Поддерживаемые алгоритмы подписи**

Стандарт использует современные стандарты шифрования, которые применяются во всем мире. Также возможно использование

Подпись заголовка и полезной нагрузки производится следующими алгоритмами.

Обязательный для поддержки всеми реализациями алгоритм HMAC с использованием SHA-256 (HS256).

Рекомендованные алгоритмы RSASSA PKCS1 v1.5 с использованием SHA-256 (RS256) и ECDSA с использованием P-256 and SHA-256 (ES256).

Также поддерживаются вариации рекомендованных алгоритмов с использованием SHA-384 и SHA-512 соответственно HS384, HS512, RS384, RS512, ES384, ES512.

#### **Структура заголовка подписанного JWT токена**

Использование подписанного JWT позволяет повысить защищенность токена при его использовании. Ниже указаны дополнительные ключи.

Ключ `jku:URI` на набор открытых ключей в JSON-формате, используемых для подписи данного токена (JSON Web Key Set URL).

Ключ `jwk`: Ключ, используемый для подписи данного токена (JSON Web Key).

Ключ `kid`: Уникальный идентификатор используемого ключа для случая, когда указывается набор ключей (Key ID).

Ключ `x5u`: URI на набор сертификатов X.509. Первый сертификат в наборе должен являться тем, который использовался для подписи данного токена (X.509 URL).

Ключ `x5c`: Массив сертификатов X.509 в формате JSON, использованных для подписи данного токена (X.509 certificate chain).

Ключ x5t: Цифровой отпечаток SHA1 сертификата X.509 (X.509 certificate SHA-1 fingerprint).

Ключ crit: Массив строк с названиями ключей данного заголовка, которые должны обрабатываться парсером JWT. Если должны быть обработаны все ключи, то не используется (critical).

### **Реализации**

Реализации JWT существуют в следующих языках программирования и фреймворках: Clojure, .NET, Go, Haskell, Python, Java, JavaScript, Lua, Perl, PHP, Ruby, Rust, Scala, Erlang, Common Lisp и Elixir.

### **Выводы**

В статье приведены основные механизмы и принципы работы открытого стандарта создания токенов доступа JsonWebToken (JWT) для передачи доступа в клиент-серверных приложениях. Показан общий принцип работы формирования токенов доступа, их проверки и аутентификации. Описаны составляющие и компоненты данного стандарта. Указаны преимущества стандарта JWT, его составных частей, а также гибкость применения в задачах аутентификации.

### **Список использованных источников**

1. Johnson M: New advanced personal data protection/ Wiley Information Technologies, 2016.
2. Troelsen I: JWT view via C# libraries/ Apress, 2016
3. Albahari J: JWT – a brand new protection system/ Bookjoy, 2015

УДК 519.6

А. А. Стенин, Е. Ю. Мелкумян, С. А. Стенин, А. А. Мизев

## **ОПТИМАЛЬНОЕ РАЗМЕЩЕНИЕ ИНДУСТРИАЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ С МИНИМАЛЬНЫМИ ЭКОЛОГИЧЕСКИМИ ПОСЛЕДСТВИЯМИ ДЛЯ ДАННОГО ПРОМЫШЛЕННОГО РЕГИОНА**

*Аннотация.* В данной статье решается задача оптимального размещения новых промышленных предприятий. Рассмотрены общая математическая модель и типичные ситуации. Указаны методы решения задачи оптимизации и дана интерпретация частных и общих результатов.

*Ключевые слова:* уравнение Навье-Стокса, экологически значимые зоны, интегральные критерии загрязнения, методы прямого моделирования, линейное программирование.

### **Введение**

Повышение темпов развития экономики Украины требует строительства современных мощных промышленных предприятий. Поскольку для их работы требуются значительные трудовые ресурсы, их целесообразно размещать в густонаселенных районах или вблизи от них. Однако при этом возникает проблема минимизации их вредного влияния на экологическую систему выбранного региона [1,2]. Проблема оптимального размещения промышленных предприятий является достаточно сложной и многокритериальной. Локальные загрязнения в результате выбросов промышленных предприятий, построенных без учета экологической составляющей, сегодня давно превзошли предельно допустимые санитарные нормы. Естественно, что предельно допустимые дозы должны учитывать загрязнения и от уже существующих промышленных объектов данного региона, что было рассмотрено авторами в работе [3]. Данная статья является развитием данной тематики и посвящена решению задачи оптимального размещения новых промышленных предприятий с соблюдением санитарных норм загрязнения для всех экологически значимых зон.

### **Постановка задачи**

Пусть требуется разместить новое промышленное предприятие в выбранном регионе с таким условием, что бы суммарное годовое загрязнение вредных промышленных выбросов не превышало допустимых санитарных норм и общая



экологическая нагрузка на весь регион за счет загрязнения от данного предприятия была минимальной, но в пределах допустимых санитарных норм.

Предположим, что данное промышленное предприятие выбрасывает в атмосферу в единицу времени на высоте  $z_0 = h$  вредный аэрозоль с интенсивностью  $Q$ , который переносится воздушными массами и диффундирует в атмосфере за счет процесса турбулентности. Считаем, что местонахождение источника загрязнения определяется некоторой точкой  $\bar{r}_0 = (x_0, y_0, z_0)$ , которая соответствует местоположению трубы этого предприятия  $(x_0, y_0)$ , и её высоты  $z_0$ . Тогда область загрязнения согласно работам [3,4] можно описать функцией:

$$f(\bar{r}) = Q\delta(\bar{r} - \bar{r}_0) \tag{1}$$

Уравнение процесса массопереноса на основании уравнения Навье-Стокса [6], которое описывает динамику процессов массопереноса веществ в различных средах, в нашем случае может быть записано в виде [3,4]:

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} + \text{div} \bar{v} \cdot \varphi + \sigma \varphi = \frac{\partial}{\partial z} v \frac{\partial \varphi}{\partial z} + \mu \Delta \varphi + Q\delta(\bar{r} - \bar{r}_0) \tag{2}$$

где:  $\varphi = \varphi(x, y, z, t)$  – интенсивность аэрозолей субстанции, мигрирующей вместе с потоком воздуха в атмосфере;  $\bar{v} = (v_x, v_y, v_z)$  – проекции вектора скорости  $\bar{v}$  на оси координат;  $v, \mu$  – коэффициенты вертикального и горизонтального турбулентного обмена;  $\sigma$  – коэффициент поглощения.

Решение будем искать для цилиндрической области  $\Omega$  с поверхностью  $\mathcal{S}$ , состоящей из боковой поверхности  $S_\sigma$ , нижнего основания  $S_0$  (при  $z_0 = 0$ ) и верхнего основания  $S_h$  (при  $z_0 = h$ ) на множестве периодических функции от переменной  $t$  с периодом  $t$ , т.е.

$$\varphi(\bar{r}, \bar{T}) = \varphi(\bar{r}, 0) \tag{3}$$

В качестве граничных условий примем:

$$\begin{cases} \varphi = 0 & \text{на поверхности } S_\sigma \\ \frac{\partial \varphi}{\partial z} = \alpha \psi & \text{на поверхности } S_0 \\ \frac{\partial \varphi}{\partial z} = 0 & \text{на поверхности } S_h \end{cases} \tag{4}$$

Сюда нужно добавить уравнение неразрывности

$$\frac{\partial v_x}{\partial t} + \frac{\partial v_y}{\partial t} + \frac{\partial v_z}{\partial t} = 0, \tag{5}$$

отражающее выполнение закона сохранения масс.

Задача состоит в том, чтобы выбрать для размещения  $k$ -го промышленного предприятия такую зону  $\Omega_k \subset \Omega$ , в которой будут соблюдаться глобальные и локальные санитарные нормы загрязнения как всего региона  $S_0$ , так и выбранных зон  $\Omega_k$ .

Кроме того, необходимо иметь информацию о розе ветров, присущую данному региону.

### Решение задачи.

В качестве основного функционала решения задачи (1) - (5) будем использовать функционал вида [3,4]:

$$I_p = \int_0^T dt \int_{\Omega} p \varphi d\Omega, \quad (6)$$

при различных значениях  $\mathbf{P}$ .

В частности, при

$$p = \begin{cases} b, \bar{r} \subset \Omega_k \\ 0, \bar{r} \not\subset \Omega_k \end{cases} \quad (7)$$

приходим к функционалу вида

$$I_k^b = b \cdot \int_0^T dt \int_{\Omega_k} p \varphi d\Omega, \quad b = 1/T, \quad (8)$$

который определяет среднее за период  $T$  количество аэрозоля в единичном цилиндре над экологически значимой зоной.

Если же принять  $\mathbf{P}$  равным:

$$p = \begin{cases} a \cdot \delta(z), \bar{r} \subset \Omega_k \\ 0, \bar{r} \not\subset \Omega_k \end{cases} \quad (9)$$

где  $a$  – характеризует вероятность выпавшей на поверхность земли субстанции аэрозоля снова попасть в атмосферу, то придем к функционалу:

$$I_k^a = a \cdot \int_0^T dt \int_{\Omega_k} \varphi dS \quad (10)$$

который определяет полное количество аэрозоля, осевшего на земной поверхности в той же зоне  $\Omega_k \subset S_0$ .

Отсюда

$$I_p = I_k^b + I_k^a \quad (11)$$

С учетом (11), введем в рассмотрение обобщенный функционал

$$I_{\Omega_k} = \int_0^T dt \int_{\Omega_k} [b_k + a_k \cdot \delta(z)] \varphi d\Omega, \quad (12)$$

где  $a_k, b_k$  – коэффициенты, определяемые конкретно выбранной зоной  $\Omega_k$  и периодом повторения  $T$ . Следует отметить, что эти коэффициенты могут иметь более сложный характер, в частности, могут выражать корреляционные связи между количеством аэрозолей в  $\Omega_k$  и его вредностью и т.д.

В случае одномерной задачи решение уравнения (2) в стационарном режиме в зависимости от наличия ветра, его скорости и направления, имеют вид,

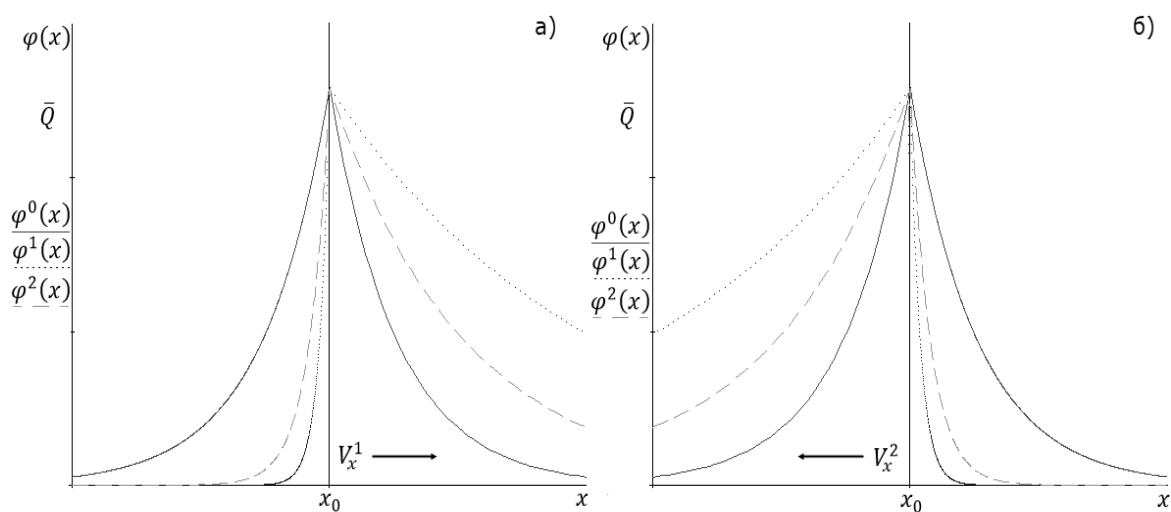
представленный на рис. 1 а) и б). Функция  $\varphi^0(x)$  имеет симметричный вид и соответствует интенсивности аэрозолей при отсутствии ветра.

Её аналитическое выражение имеет вид:

$$\varphi^0(x) = \frac{Q}{2\sqrt{\sigma\mu}} \begin{cases} \exp\{-\sqrt{\sigma/\mu} \cdot (x - x_0)\}, \text{ при } x \geq x_0 \\ \exp\{\sqrt{\sigma/\mu} \cdot (x - x_0)\}, \text{ при } x \leq x_0 \end{cases} \quad (13)$$

при этом  $\bar{Q} = \frac{Q}{2\sqrt{\sigma\mu}}$ , где  $\sigma$  и  $\mu$  – величина, обратная величине интервала времени,

за который интенсивность субстанции по сравнению с начальной интенсивностью  $\varphi(0)$  уменьшится в  $e$  раз.



**Рис. 1.** Вид одномерных функций  $\varphi(x)$  при отсутствии ветра ( $\varphi^0(x)$ ) и при наличии ветра, его направления  $V_x$  и значений  $V_x^1$  и  $V_x^2$  его скорости ( $\varphi^1(x, V_x^1)$ ) и  $\varphi^2(x, V_x^2)$  при  $V_x^1 > V_x^2$

При наличии ветра функции  $\varphi^1(x)$  и  $\varphi^2(x)$  асимметричны и имеют в показателе экспоненты составляющую силы ветра с учетом его направления.

Известно [6], что аналитическое решение уравнения Навье-Стокса для трехмерного случая до сих пор не получено.

Поэтому так или иначе приходится использовать его упрощенные аналоги, полученные на основе дополнительной информации и упрощающих решение задачи условий.

Кроме того, данная задача в такой постановке в идеале требует бесконечно большого числа переборных точек размещения индустриального предприятия с бесконечно большим числом решений.

Поэтому на практике необходимо иметь большой объем климатической статистической информации относительно данного региона на протяжении длительного времени наблюдения [1,4]. Исходя из нее выбирается значение периода  $T$  и приоритетные точки размещения индустриального предприятия.

В данном случае можно выбрать два подхода к решению данной задачи. Во-первых, можно использовать методы прямого моделирования для отобранных тем или иным способом точек размещения индустриального предприятия. Однако этот подход требует наличия специального программного обеспечения, в частности, Solid Works [5]. Во-вторых, можно использовать подход, предложенный авторами в работе [3], который предлагает сведение искомой задачи к задаче линейного программирования, однако требует введения дополнительных условий. Как в том, так и в другом случае решение вопроса об оптимальном размещении сводится к многократному решению и последующего выбора минимального из полученных. Как уже указывалось ранее, число таких итераций может быть снижено за счет целенаправленного перебора с учетом розы ветров и других соображений климатического статистического характера.

При определенных условиях, приведенных в работе [4], эта задача может быть решена однозначно с помощью всего лишь одного варианта расчета сопряженной задачи, построенной на основе принципа двойственности.

### Заключение

Следует отметить, что глобальная оценка загрязнения в данной задаче оптимизации решается для всего региона  $S_0$ , но она может не удовлетворять специфическим условиям для всех экологически значимых зон  $\Omega_k$ .

Задача оптимизации может быть решена для всех экономически значимых зон  $\Omega_k$ , но она не будет полностью учитывать опасность загрязнения в остальных областях этого региона. В принципе можно весь регион  $S_0$  покрыть зонами  $\Omega_k$ , т.е.  $\cup \Omega_k = S_0$ , и решить для них задачи оценки загрязнения. Но таких зон может быть много и значительно затрудняет решение задачи. Поэтому необходимо использовать всю статистическую информацию и, прежде всего, экологического характера, чтобы с учетом типизации метеорологических процессов и минимальных капиталовложений безопасно выбирать место расположения будущего индустриального объекта.

### Литература

1. Л. Долина. Мониторинг окружающей среды и инженерные методы охраны биосферы. Часть 2. Проектирование мониторинга. - Днепропетровск, Континент, 2004, 105 с.

2. Защита атмосферы от промышленных загрязнений: Справочник. Изд. в 2-х томах / Под ред. С. Кольверта, С. Инглуида. - М.: Металлургия, 1988, 758с.

3. А. А. Стенин, Е. Ю. Мелкумян, С. А. Стенин Оптимизация вредных выбросов предприятий в экологических зонах промышленного региона. АСАУ. 2017, вып. 1(30), с. 176-183.

4. Г. И. Марчук Математическое моделирование в проблеме окружающей среды. - М.: Наука, Гл. редакция физ.-мат. литературы, 1982. - 320 с.

5. А. А. Акамовский и др. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды. - СПб.: БХВ-Петербург, 2008, - 1040 с.

6. Темам Р. Уравнения Навье-Стокса. Теория и численный анализ (пер. с англ.). - М.: Изд-во "Мир", 1981, 408 с.

## АЛГОРИТМ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБЛИЧЧЯ ЛЮДЕЙ НА БАЗІ ЗГОРТКОВОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ

*Анотація:* В статті розглянуто методи детектування та розпізнавання облич, проаналізована можливість їх комбінації з метою побудови комп'ютерної системи розпізнавання. Отриманий результат дозволив виділити переваги та недоліки при проектуванні системи розпізнавання у розглянутій області застосування. Розроблено алгоритм та реалізована програма ідентифікації обличчя особи.

*Ключові слова:* система ідентифікації, розпізнавання обличчя, ключові точки і ознаки, нейронна мережа, виділення області, помилкові спрацьовування.

### Вступ

Вперше завдання розпізнавання обличчя виникло в криміналістиці. У зв'язку з цим були розроблені математичні методи і моделі як обличчя так і процедури розпізнавання особи, що можна назвати завданням верифікації. Добре відома величезна різноманітність факторів, що призводять до внутрішньокласової мінливості об'єкту розпізнавання: зміна освітлення, зміна положення, міміка, візит до перукаря – це все призводить до погіршення якості роботи детектора обличчя. Тим не менше, значна кількість досліджень, що відбуваються у лабораторіях усього світу протягом декількох десятиліть, так і не посприяла створенню вимог до реально працюючих систем комп'ютерного зору, здатних виявляти і розпізнавати людину в будь-яких умовах та позиціях. Сьогодні потреба в розпізнаванні загострюється в 5 напрямках: системи безпеки, банківська сфера (як для безпеки, так і при роботі з клієнтами), підтвердження особи, соціальні мережі і як особистий пароль.

Які можливі варіанти при розпізнаванні особи? Першу ситуацію можна описати як бажання об'єкта бути розпізнаним (наприклад на терміналі прикордонної служби або для визначення - чи це саме та людина, яка хоче зайти в приміщення, має на це дозвіл, а не якась інша). Інша назва такої ситуації: система з кооперацією – коли людина сама допомагає при такій процедурі.

Другий варіант ситуації – це відсутність кооперації суб'єкта з системою візуального моніторингу, наприклад камера на вулиці або прихована камера в банку. Цей варіант стикається з проблемою схожості людей один на одного. У найбільш складному випадку, при використанні системи виявлення та ідентифікації людини по зображенню його обличчя в обстановці, коли швидко змінюється сцена подій або загальний фон, з великим потоком вхідних даних (моніто-

Міжвідомчий науково-технічний збірник «Адаптивні системи автоматичного управління» № 1' (32) 2018  
ринг на міських вулицях з інтенсивним рухом, в метро, аеропортах і т.п.), вимагається використання максимально доступної додаткової інформації для досягнення задовільних результатів роботи алгоритму.

### **Постановка задачі**

Метою роботи є розробка системи ідентифікації людини шляхом розпізнавання її обличчя в ситуації з кооперацією. Кооперація впливає з області застосування, наприклад, пропускний пункт охорони підприємства чи виявлення обличчя людини з вуличного потоку авто. Для виконання поставленої мети були розглянуті наступні завдання: проведення аналізу існуючих алгоритмів та підходів для розпізнавання облич; за отриманими результатами розробити більш ефективний метод та сформулювати вимоги до системи розпізнавання; реалізація та тестування розробленого методу.

Задача автоматичного розпізнавання особи, яка проходить крізь пункт пропуску за допомогою картки, враховує обмеження більшості підприємств – кількість осіб, що підлягатимуть розпізнаванню є постійним числом, що спрощує таке завдання і надає можливість зосередитись на найважливішому.

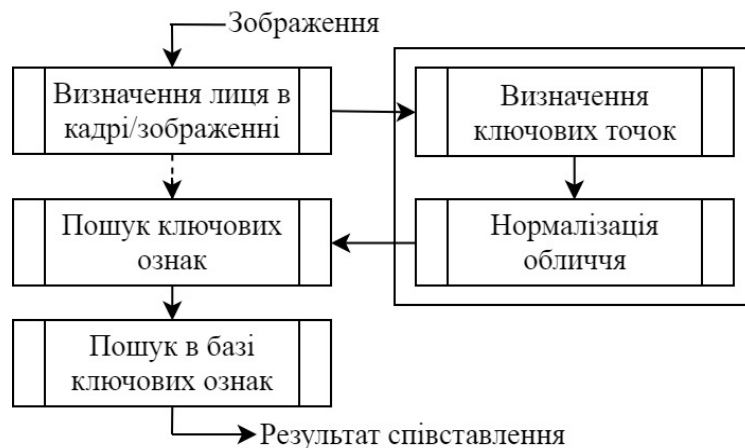
#### **Загальний підхід до розробки системи розпізнавання**

У загальному випадку алгоритм вирішення задачі виявлення та ідентифікації людини по зображенню його обличчя складається з наступної послідовності очевидних кроків: виявлення факту присутності людини на сцені, виділення фігури людини, виділення голови, визначення ракурсу спостереження голови (анфас, профіль), виділення особи, порівняння з еталонами кінцева ідентифікація.

Завдяки деяким алгоритмам можна відразу перейти до кроку визначення області на якій знаходиться обличчя людини. До таких відносять методи, що засновані на частинних ознаках: контурний аналіз, класифікацію по кольору шкіри, пошук/розпізнавання анатомічних ознак. Хоча слід відзначити: кращі результати можна отримати за допомогою методів, що засновані на узагальнених ознаках та використовують мета-алгоритми AdaBoost, RealBoost та «слабкі» класифікатори для побудови «сильних» класифікаторів, до них відносять: HAAR-Like features, LBP, Gaussians fields.

Так загальний порядок задач, що потрібно вирішити при створенні системи розпізнавання представлений на рис. 1.

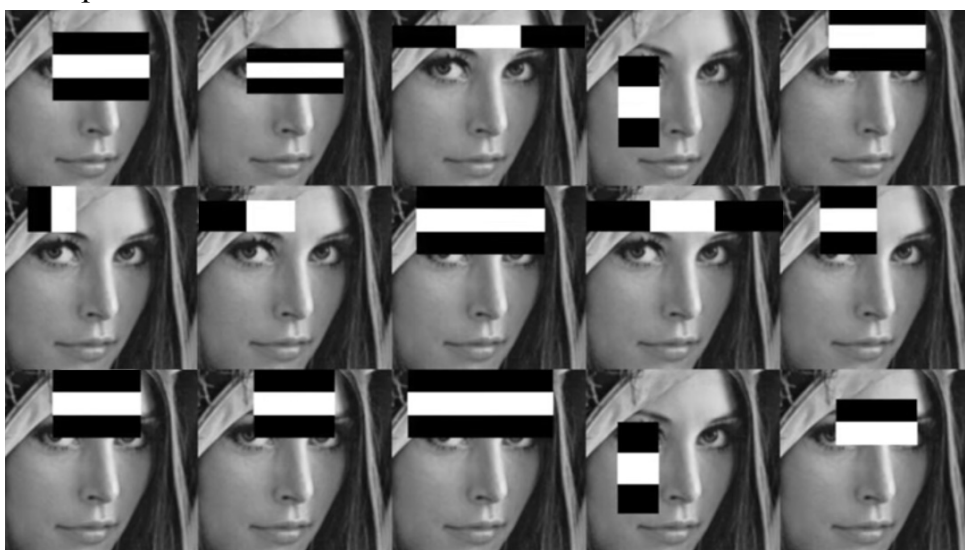
При наявності зображення або відео потоку, розбитого на кадри, перше завдання яке виникає – де на зображенні знаходиться особа або особи, яких треба знайти. Визначення ключових точок і нормалізація обличчя (виділені прямокутником на рис. 1.) два надзвичайно важливих і пов'язаних між собою пункти, що мають найбільший вплив на якість і результати розпізнавання.



*Рис. 1* – Послідовність завдань, що виникають при розпізнаванні обличчя

### Аналіз існуючих методів ідентифікації людини

Локалізацію обличчя прийнято здійснювали детектором Віоли-Джонса, що в чистому вигляді будується за допомогою Machine Learning [1]. Він використовує каскад Хаара, який є набором примітивів, для яких розраховують їх згортку з зображенням. Використовуються найпростіші примітиви, що складаються з прямокутників і мають всього два рівні, +1 і -1. При стандартному розмірі примітива в 24x24 пікселя, можливі 162 тисячі [1] різних ознак і занадто довга процедура розрахунку. Тому в алгоритмі Віоли-Джонса використовується варіація алгоритму навчання AdaBoost, як для вибору ознак, так і для настройки класифікаторів [2]. Так, наприклад, очі будуть темніші, ніж область між ними, так само як область брів чи рота буде темнішою ніж лоб. Приклад таких примітивів зображений на рис. 2.



*Рис. 2* – Примітиви Хаара



Обчислення згортки відбувається циклічно “ковзаючим вікном” чи вікном змінного розміру, або при постійному розмірі вікна змінюється розширення зображення. Важливим є уникання отримання помилкових оцінок, для цього помилка другого роду повинна бути менше  $10^{-7}$  (бо при наявності  $10^5$  вікон буде вже 10 помилок, що є неприпустимим).

Наприклад, налаштований типовий дескриптор з відкритої бібліотеки OpenCV має 38 каскадів, що аналізує 6061 ознак. Коли на першому етапі використовуються лише дві ознаки, він відкидає 50% точок не обличчя при точності в 100%; другий етап – 10 ознак вже відкидає 80% не обличчя при точності близько 100%; на 3 і 4 етапах - по 25 ознак і т. д. [3].

Вибір алгоритму, який використовується для ідентифікації людини по зображенню його обличчя, також залежить від конкретних умов його застосування. Завдання виявлення конкретної людини в натовпі вимагає застосування зображень високої якості та витончених методів для зниження рівня помилкових спрацювань. При цьому потік інформації з відеокамери може значно збільшуватися, що може призводити до вимоги додаткових обчислювальних потужностей (наприклад, застосування комп'ютерного кластера) чи використання на першому етапі поточної ідентифікації фільтрованих зображень з меншою кількістю пікселів, а на другому – більш якісних.

Для наших умов розглянемо класичний та відносно новий методи ідентифікації.

*Метод головних компонент.* Для завдання розпізнавання має наступний вигляд: вхідні вектори – це відцентровані і приведені до єдиного масштабу зображення обличчя. Власні вектори, обчислені для всього набору зображень обличчя, називаються власними обличчями (eigenfaces). Вхідне зображення розкладається на набір лінійних коефіцієнтів, що називають головними компонентами. Сума  $N$  перших головних компонент, помножених на відповідні власні вектори, є апроксимацією зображення порядку  $N$  і зазвичай береться від 5 до 200 головних компонент. Інші компоненти кодують дрібні відмінності між особами і шум. Процес розпізнавання полягає в порівнянні головних компонент нерозпізаного зображення з компонентами всіх інших зображень. Для цього зазвичай застосовують будь-яку метрику (найпростіший випадок – евклідова відстань) [4].

Цей метод вимагає єдиних параметрів освітленості, нейтрального виразу обличчя, відсутності перешкод (окуляри чи борода). При недотриманні цих умов головні компоненти не будуть відображати міжкласові варіації. Наприклад, при різних умовах освітленості перші головні компоненти переважно відображають зміни освітлення, а порівняння видає зображення, що мають схожий рівень освітленості, і метод стає практично непридатним для роботи. Обчислення набору власних векторів відрізняється високою трудомісткістю. Тому цей метод можна використовувати лише в ідеальних умовах.

*Згорткова нейронна мережа* має деяку специфіку – вона полягає у перестановці згорткових шарів та шарів субдискретизації (пулінгу). Структура мережі багат шарова – однонаправлена (беззворотних зв'язків). Для навчання використовуються стандартні методи, частіше всього метод зворотного розповсюдження помилок. Функція активації нейронів (передаточна функція) – будь-яка, за вибором дослідника. Назву мережа отримала через наявність операцій згортки.

Після кількох проходжень згортки по зображенню і ущільненню за допомогою пулінгу система сама перебудовується від конкретної сітки пікселів з високою роздільною здатністю до більш абстрактних карток ознак. Як правило, на кожному наступному шарі збільшується число каналів і зменшується розмірність зображення в кожному каналі. Зрештою залишається великий набір каналів, що зберігають невелику кількість даних (навіть один параметр), які інтерпретуються як самі абстрактні поняття, виявлені з вихідного зображення.

Ці дані об'єднуються і передаються на звичайну повнозв'язну нейронну мережу (НМ), яка теж може складатися з декількох шарів. При цьому повнозв'язні шари вже втрачають просторову структуру пікселів і мають порівняно невелику розмірність [5].

Переваги згорткової НМ:

- Невелика кількість вагових коефіцієнтів, оскільки одне ядро використовується для всього зображення, замість того, щоб робити для кожного пікселя вхідного зображення свої вагові коефіцієнти. При навчанні відбувається узагальнення демонстрованої інформації, а не запам'ятовування кожної показаної картини у вигляді мільярдів вагових коефіцієнтів.

- Відносна стійкість до повороту і зсуву зображення.

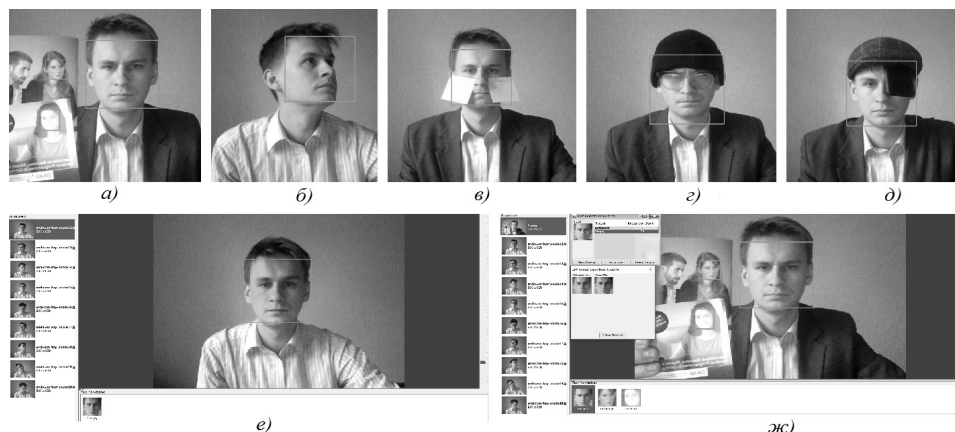
- Зручне розпаралелювання обчислень, а, отже, можливість реалізації алгоритмів роботи і навчання мережі на графічних процесорах [6].

#### **Експериментально-дослідне вирішення задачі**

Для вирішення поставленого завдання ідентифікації особи за зображенням її обличчя та виявлення недоліків, було розроблено декілька версій ПЗ, що реалізує описані вище методи, а саме: локалізація обличчя здійснювалася алгоритмом Віоли-Джонса, а безпосередньо для розпізнавання використовувався метод Eigenfaces (головних компонент) або згорткова НМ.

На рис. 3. *a-d* зображена робота детектора Віоли-Джонса, з чого видно, що фронтальні обличчя чудово відшуковуються, деякі труднощі виникають при повороті голови або зміні ракурсу. Також використання перешкод під очима та засобів маскування по типу капелюха, окулярів чи навіть пов'язки на око не змогли «приховати» обличчя.

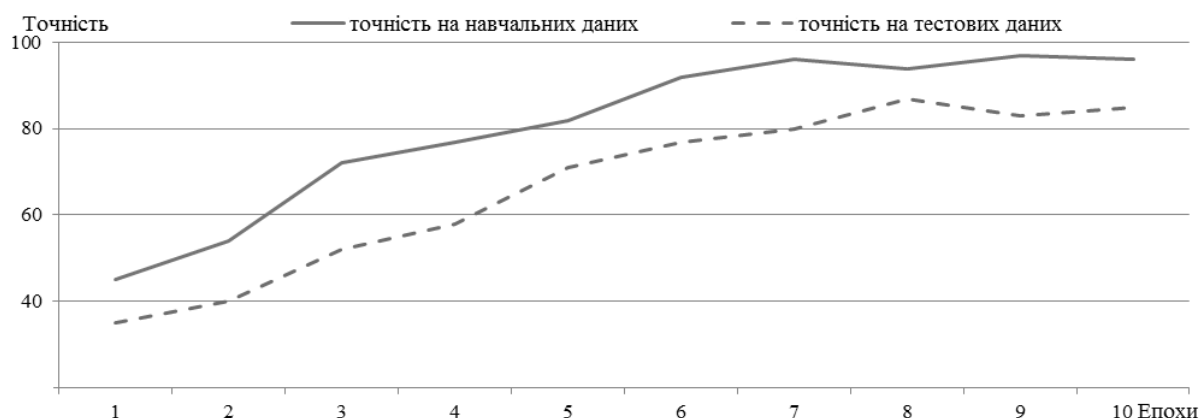
Навіть при кількості у сотню головних компонент результати отримані при розпізнаванні вже не настільки успішні (рис. 3. *е-ж*). Тестування показало, що враховуючи, що в базі обличч була лише одна особа, точність для слабко зашумлених зображень з навчаючої вибірки склала 94-100%, а ось для звичайних фото точність розпізнавання варіювалася від 48% для фото в «профіль» і до 0,6% з повернутим обличчям на  $10-25^{\circ}$ .



**Рис. 3** – Результати знаходження та розпізнавання обличчя

Додаткова точність досягалася при використанні отриманих областей методом Віюлі-Джонса для більш швидкого заповнення бази осіб. Враховуючи дані результати програма буде часто давати хибні результати, і, незважаючи на її простоту, вона підкреслює недоліки класичних систем ідентифікації особи за зображенням.

Комбінування методу Віюлі-Джонса та згорткової НМ дало вже набагато кращі результати, що зображено на рис. 4. Враховуючи те, що нейронна мережа проходила навчання на зображеннях фіксованого розміру (кількість пікселів має бути постійною, оскільки вона і є кількістю входів мережі), виникала необхідність нормувати зображення з камери і, таким чином, приводити його до розмірів, на яких навчалася мережа.



**Рис. 4** – Точність розпізнавання при навчанні мережі

Нормалізація здійснювалася за допомогою детектору Віюлі-Джонса - виділена область стискалась до необхідних розмірів за допомогою методів бібліотеки OpenCV, далі зображення передавалося на вхід згорткової НМ, а на виході активувався нейрон, що відповідав за певну особу (алгоритм комбінованої обробки за допомогою згорткової НМ або алгоритму Eigenface зображений на рис.5). Внаслідок неминучих спотворень при нормалізації точність падала, і складала 80-85%. Враховуючи малий розмір навчаючої вибірки у 50 зображень та після 10 епох навчання з підвибірками по 10 зображень, отримані результати наочно підтверджують ефективність та перспективність використання згорткових НМ.

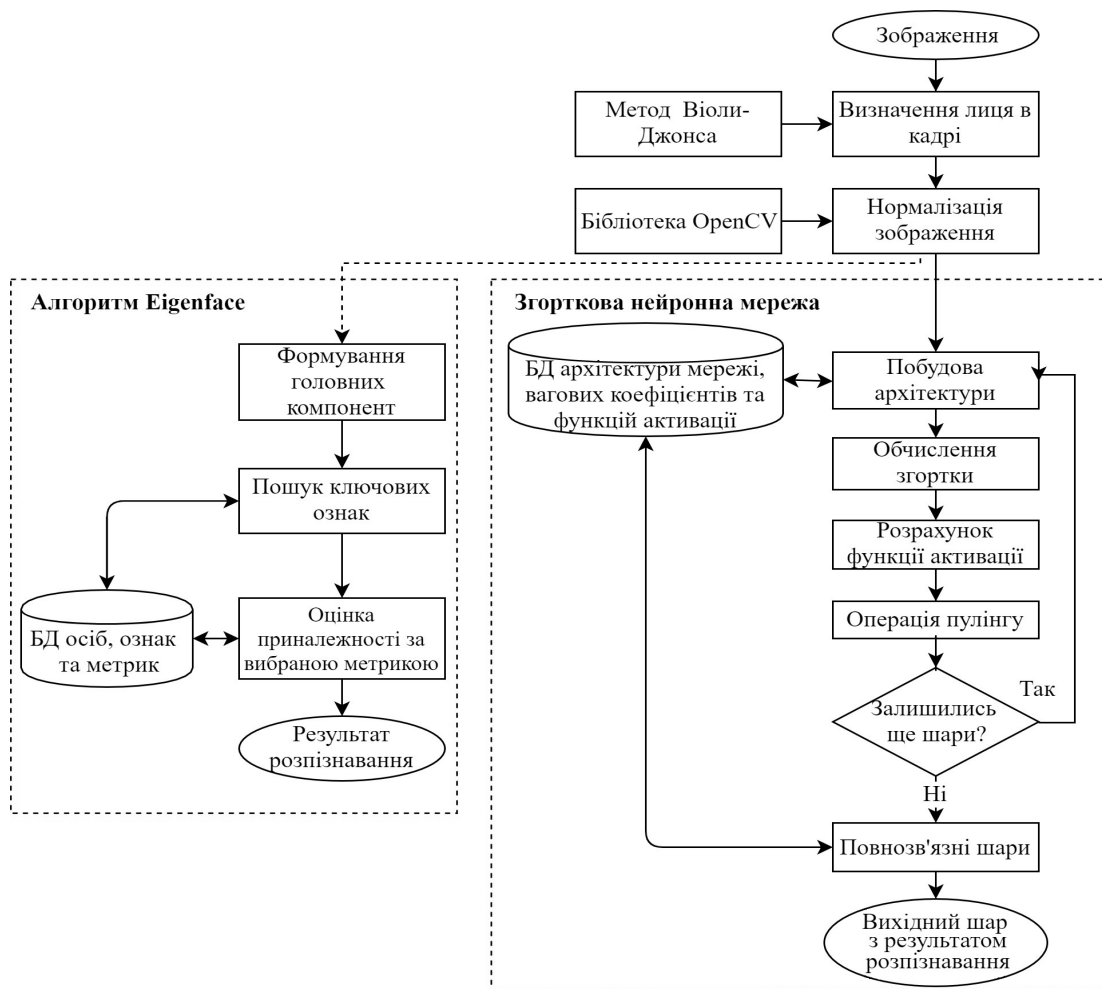


Рис. 5. Структура алгоритму комбінованої обробки зображень

Використовуючи таку систему слід пам'ятати, що результат є ймовірністю, перенавчання мережі внаслідок додавання нового члена колективу може займати багато часу, тому виникає потреба у резервному копіюванні хоча б вагових коефіцієнтів. Для нейронних мереж, у яких база осіб по факту є значеннями їх

Міжвідомчий науково-технічний збірник «Адаптивні системи автоматичного управління» № 1' (32) 2018 вагових коефіцієнтів, швидкість обробки зменшується при додаванні нових осіб, що обумовлює перенавчання мережі, а такий процес надзвичайно ресурсномісткий. Велику проблему для систем безпеки складають також помилкові спрацювання.

Для розглянутої задачі можна підібрати метод та побудувати систему розпізнавання, що даватиме задовільні результати. Теоретично можна збільшити швидкодію шляхом передачі нормалізованого зображення на вхід мережі після успішного проходження лише половини каскадів Хаара.

### **Висновки**

Отримані результати показали перспективність використання комбінації двох методів – за допомогою детектору Віоли-Джонса та згорткової НМ. Розглянуті та реалізовані вище методи підкреслюють обмеженість використання методів розпізнавання з використанням комп'ютерного зору. Так обмеження, що накладені на детектори обличчя створюють парадокс: швидкі алгоритми, що добре визначають область з обличчям, але знаходять його добре лише у фронтальному положенні з мінімальною інваріантністю, а методи, що знаходять обличчя у будь-яких умовах з високою точністю вимагають великих обчислювальних витрат. До того ж необхідний швидкий і точний пошук по базі даних осіб, так як накладаються обмеження на виділення вектору ознак і при декількох невірно визначених ознаках метод може взагалі не спрацювати.

Тому питання про створення класу універсальних швидкодіючих, інваріантних до перешкод та точних алгоритмів ідентифікації особи за зображенням її обличчя залишається відкритим.

### **Список використаних джерел**

1. P. Viola and M.J. Jones, «Rapid Object Detection using a Boosted Cascade of Simple Features», proceedings IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2001), 2001
2. P. Viola and M.J. Jones, «Robust real-time face detection», International Journal of Computer Vision, vol. 57, no. 2, 2004., pp.137–154
3. Bradsky G., Kaehler A. Learning OpenCV — O'Reilly, 2008. — P. 580 — ISBN 978-0-596-51613-0
4. M. Turk; A. Pentland (1991). "Face recognition using eigenfaces". Proc. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. pp. 586–591.
5. Y. LeCun, B. Boser, J. S. Denker, D. Henderson, R. E. Howard, W. Hubbard and L. D. Jackel: Backpropagation Applied to Handwritten Zip Code Recognition, Neural Computation, 1(4):541-551, Winter 1989.
6. Matusugu, Masakazu (2003). «Subject independent facial expression recognition with robust face detection using a convolutional neural network». Neural Networks 16 (5): 555–559. DOI:10.1016/S0893-6080(03)00115-1.

## **МОДЕЛЬ ОПТИМАЛЬНОГО ВИБОРУ ТОПОЛОГІЇ ШТУЧНИХ НЕЙРОННИХ СІТОК З ВИКОРИСТАННЯМ ГЕНЕТИЧНОГО АЛГОРИТМУ**

*Анотація:* в даній статті розглянуто проблему вибору оптимальної топології нейронної сітки та шляхи її вирішення. З причини різноманітності класів задач постає проблема вибору методу рішення та його ефективність. Наведено результати роботи генетичного алгоритму в процесі вибору топології нейронної сітки та на практиці доведено перевагу даного підходу.

*Ключові слова:* генетичний алгоритм, штучні нейронні сітки, топологія нейронної сітки, нейроеволюційний алгоритм, ШНС.

### **Вступ**

Штучні нейронні сітки (ШНС) і генетичні алгоритми є порівняно молодими напрямками досліджень в області штучного інтелекту та прийняття рішень [2]. Обидві концепції використовують для функціонування аналоги природних принципів. Використання генетичних алгоритмів для одночасного налаштування ваг і структури ШНС називається нейроеволюцією або нейрогенезісом [9].

Дослідження даної теми є безперечно актуальним, адже розробка, аналіз та застосування ефективних і універсальних методів розв'язку задач (алгоритмів) є наразі ключовою задачею комп'ютерних наук, а тема еволюційних алгоритмів ще не достатньо досліджена [1-3]. Генетичні алгоритми надають можливість швидкої генерації прийнятних розв'язків задач, які неможливо розв'язати іншими аналітичними методами, уникаючи повного перебору і значно скорочуючи часові витрати, а використання генетичних алгоритмів для автоматизації зміни параметрів програми називається генетичним програмуванням [10].

На сьогоднішній день, підбір архітектури нейронної сітки, кількості шарів та нейронів, критерії навчання та інших гіперпараметрів сітки виконується шляхом проб та помилок. Взаємозв'язок між гіперпараметрами та здатністю до узагальнення не очевидним. Саме тому, генетичні алгоритми є ідеальними кандидатами для вирішення таких задач.

Методики генетичного програмування для оптимізації штучних нейронних сіток дозволить отримати наступні переваги [10]:

- можливість створення самонавчальної системи, яка претендує на чималу універсальність з точки зору вирішуваних завдань;
- більш «тонке» налаштування топології ШНС, що дозволяє заощадити обчислювальні ресурси;

- можливість створення програмних продуктів та програмно-апаратних комплексів, що використовують нейромережеві технології і не потребують від кінцевого користувача глибоких знань про них.

### **1. Генетичне програмування для побудови штучних нейронних сіток**

Генетичне програмування широко використовується не тільки для створення нейронної сітки, що вирішують конкретні задачі, але і для знаходження для цих задач квазіоптимальні топології штучних нейронних сіток. Незважаючи на те, що генетичне програмування має ряд недоліків [4], на сьогоднішній день ці недоліки багато в чому можна обійти за рахунок використання різних стратегій як при реалізації різних генетичних операторів [7], так і всього генетичного алгоритму в цілому.

Даний підхід застосовується для мінімізації втручання користувача в процес створення та налаштування ШНС. Це також допоможе вирішити такі проблеми як:

- некомпетентність користувача при виборі топології мережі;
- відсутність достовірних вхідних даних для досягнення бажаної точності при навчанні нейронної сітки;
- відсутність значних ресурсів та часу для навчання та тестування ШНС з неоптимальною топологією.

Нейроеволюційний підхід багато в чому відрізняється від звичайних генетичних алгоритмів оскільки йому доводиться оперувати з набагато більш складними структурами [6]. Як відомо, нейронні сітки великих розмірів вимагають значних обчислювальних ресурсів для оцінки трудомісткості на етапі навчання ШНС.

Таким чином для застосування нейроеволюційних алгоритмів потрібно вирішити такі завдання:

- вибрати метод кодування нейронних мереж;
- реалізувати генетичні оператори, з урахуванням особливостей нейронних сіток.

Методи кодування умовно можна розділити на два класи: пряме кодування (генетичний алгоритм працює з даними ШНС в явному вигляді), непряме кодування (генетичний алгоритм працює не з самими даними ШНС, а з правилами її побудови) [5].

Історично, пряме кодування було досліджено раніше і глибше, проте воно має певний ряд мінусів, а з іншого боку, за своєю суттю непрямі методи досить складні для аналізу [7].

В рамках даної статті використовується прямий метод кодування. Однак, замість кодування нейронів за допомогою двомірних координат пропонується кодувати ваги зв'язків за допомогою пар індексів нейронів. Кожна пара містить індекс

початкового і кінцевого нейронів, крім того, кожному зв'язку між нейронами зіставляється окремий зв'язок. Приклад нейронної сітки представлено на рис. 1.

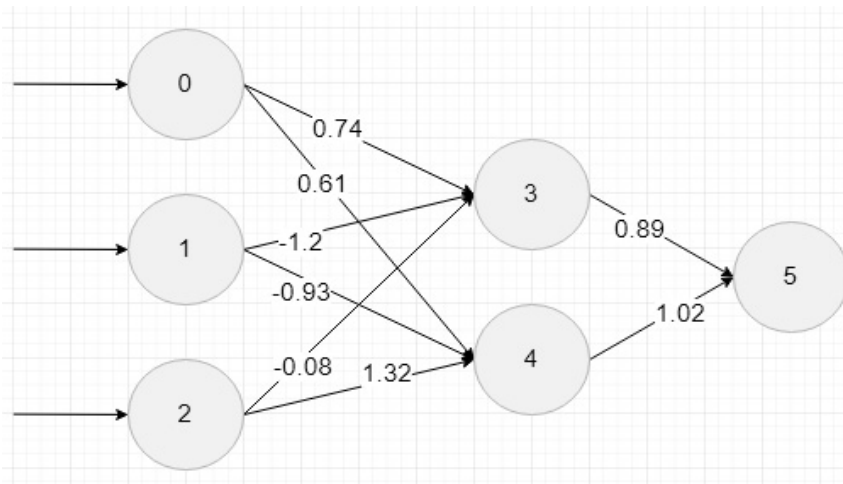


Рис. 1. – Граф та ваги певної ШНС

Табличний вид кодування наведеної для прикладу ШНС представлено у таблиці 1.

Таблиця 1.

**Кодування нейронної сітки**

	Ген 0	Ген 1	Ген 2	Ген 3	Ген 4	Ген 5	Ген 6	Ген 7
Початковий, Кінцевий Нейрони	0,3	1,3	2,3	0,4	1,4	2,4	3,5	4,5
Вага зв'язку	0.74	-1.2	-0.08	0.61	-0.93	1.32	0.89	1.02

Всі нейрони кодуються відповідно до наступних правил:

- нейрони, що включаються в генотип отримують мінімальний можливий індекс;
- індекси нейронів не можуть мати пробілів.

В якості критерію оцінки ефективності отриманих нейронних сіток було вибрано середньоквадратичну похибку (MSE – mean squared error), що представляє із себе усереднений вектор помилок на тестовій вибірці даних. Ця величина розраховується за формулою [4]:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \underline{x})^2}, \tag{1}$$

де  $n$  – кількість опрацьованих ШНС прикладів,  $x_i$  - реальних значення ШНС на виході,  $\underline{x}$ – бажане значення ШНС на виході.



Даний критерій дає уявлення про те, наскільки та чи інша нейронна сітка точно прогнозує данні, оскільки при прогнозуванні обчислюється різниця між результатом роботи ШНС і заздалегідь відомим значенням.

Також важливо знати, що даний показник можна розрахувати тільки при достатньому обсязі спостережень. В іншому випадку обчислення MSE буде неінформативним і його використання не буде приводити до поліпшення результатів роботи.

Очевидно, що обраний метод кодування вимагає спеціальних генетичних операторів, що реалізують схрещування і мутації.

Логічним буде застосовувати різні види мутацій в залежності від особливостей архітектури сітки, представленої особою, що мутує. Для цього були введені два коефіцієнта, що регулюють розмір і «напрямок розвитку сітки».

Перший з них характеризує ступінь «зв'язаності»  $Z_c$  нейронів сітки і обчислюється за формулою:

$$Z_c = \frac{N_c}{2^{R-1} [N_h(N_h-1) - N_i(N_i-1) - (1-R)N_o(N_o-1)]} \quad (2)$$

тут і далі  $N_c$  - кількість зв'язків в сітці,  $N_i$ ,  $N_o$ ,  $N_h$  - кількість вхідних, вихідних нейронів і загальне число нейронів в сітці відповідно,  $R$  - прапор, що вказує, дозволена поява зворотних зв'язків ( $R = 1$ ) чи ні ( $R = 0$ ).

Варто відзначити, що зв'язки від прихованих нейронів до вихідних можуть з'являтися в будь-якому випадку. Таким чином, чим менше  $Z_c$  тим з більшою ймовірністю в результаті мутації буде доданий новий зв'язок між нейронами.

## 2. Використання створеної моделі

Для тестування даного алгоритму та можливостей ШНС було обрано прогнозування постачання електроенергії на найближчу добу.

В якості вихідних даних для вирішення поставленої задачі були використанні дані, що розміщені на сайті ДП [11] «Енергоринок» «Погодинні граничні ціни системи, ціни за робочу потужність та ціни за маневреність» без врахування сезонних та температурних характеристик.

Вихідні дані: парні години (2,4, ..., 24) будуть використовуватися на етапі навчання ШНС, а непарні години (1, 3, ..., 23) - для перевірки якості прогнозу. На етапах, як навчання, так і прогнозу вибирається «вікно» рівне прийнятому розрахункового періоду часу - одній годині в добі. Дані зазначенні в таблиці 2.

Таблиця 2.

## Вихідні дані

Години	Гранична ціна системи грн./МВт	ціна за маневреність, грн./МВт	інша частина ОЕС України ціна робочої потужності, грн./МВт				Ціноутворюючий блок	коефіцієнт денного світла	Оптова закуп. Ціна(планова) грн./МВт
			1-ша група	2-га група	3-тя група	4-га група			
вхід 1	вхід 2	вхід 3	вхід 4	вхід 5	вхід 6	вхід 7	вхід 8	вхід 9	Вихід
1	252,39	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,00	0,04	276,73
2	252,42	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,00	0,12	278,40
3	252,39	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,00	0,2	278,42
4	252,40	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,00	0,28	278,26
5	252,45	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,00	0,36	277,44
6	252,40	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,00	0,44	276,88
7	365,00	100,00	46,98	4,00	1,00	0,05	13,00	0,52	464,39
8	365,00	87,26	52,50	4,00	1,00	0,05	13,00	0,6	462,43
9	365,00	72,72	57,57	4,00	1,00	0,05	13,00	0,68	582,00
10	365,00	65,00	58,61	4,00	1,00	0,05	13,00	0,76	582,92
11	365,00	57,09	59,68	4,00	1,00	0,05	13,00	0,84	466,74
12	365,00	73,87	56,56	4,00	1,00	0,05	13,00	0,92	461,82
13	365,00	70,95	56,45	4,00	1,00	0,05	13,00	1	461,15
14	365,00	59,96	57,72	4,00	1,00	0,05	13,00	1	461,66
15	365,00	55,19	58,40	4,00	1,00	0,05	13,00	0,9	461,28
16	365,00	3,00	65,68	4,00	1,00	0,05	12,00	0,8	467,99
17	365,00	3,00	73,32	4,00	1,00	0,05	12,00	0,7	473,10
18	365,00	3,00	76,00	4,00	1,00	0,05	12,00	0,6	580,53
19	365,00	3,00	70,21	4,00	1,00	0,05	12,00	0,5	573,99
20	365,00	3,00	64,84	4,00	1,00	0,05	12,00	0,4	567,53
21	365,00	31,06	61,16	4,00	1,00	0,05	12,00	0,3	561,10
22	365,00	65,54	56,13	4,00	1,00	0,05	12,00	0,2	454,09
23	365,00	94,93	47,02	4,00	1,00	0,05	12,00	0,1	448,97
24	251,39	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,00	0	271,45

Перед роботою ШНС нормалізуємо данні, використовуючи метод лінійної нормалізації. Перехід до нормалізованих одиниць відбувається шляхом поділу кожної компоненти вхідного вектора на довжину самого вектора, використовуючи формулу 3.

$$X_i^x = \frac{x_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_i^2}}, \quad (3)$$

де  $X_i^x$  - нормалізоване значення,  $x_i$  - компонента вхідного вектора даних,  $n$  - кількість компонент у вхідному векторі.

Виходячи з кількості вхідних та вихідних нейронів, обрано ШНС з одним прихованим шаром та 5 нейронами в ньому для нормованих вхідних даних. Топологія даної ШНС показана на рис.2.

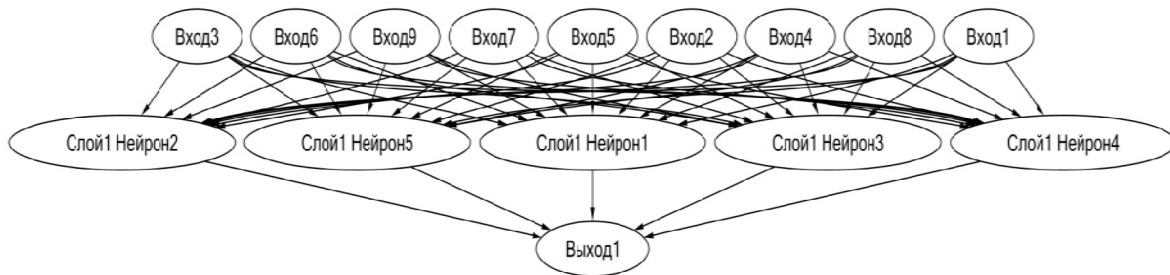


Рис. 2. - Топологія ШНС

При навчанні ШНС для різних активаційних функцій отримали значення середньоквадратичної похибки показані на рис.3.

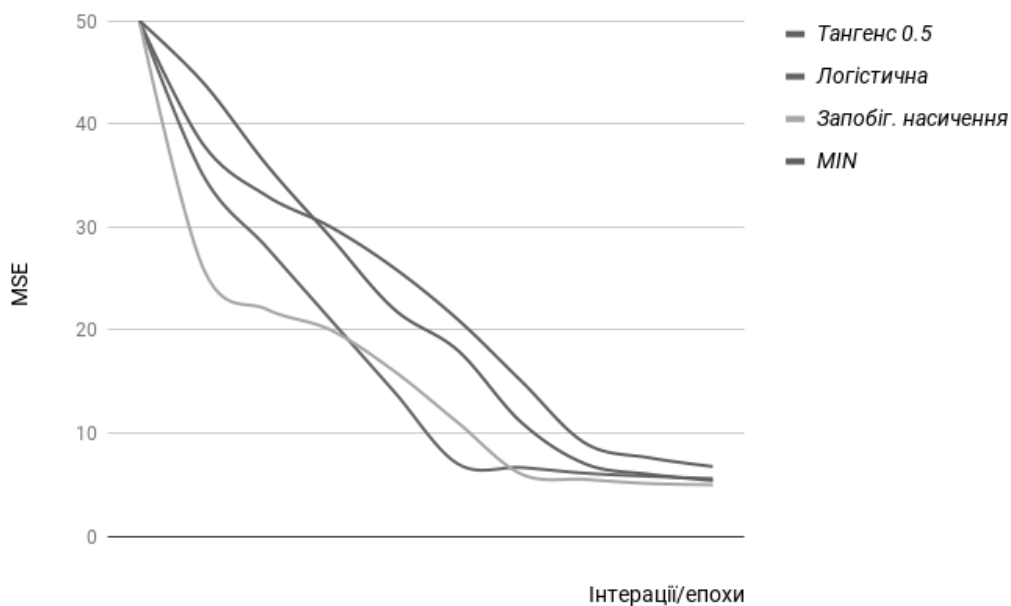


Рис. 3. – Середньоквадратична похибка

Результати роботи додатку показали, що в даному випадку оптимальною топологією ШНС, в сенсі якості прогнозу, виявилась сітка, з двома прихованими шарами: в першому шарі – 10 нейронів; у другому шарі – 5 нейронів для нормованих вхідних даних. Топологія сітки показана на рис.4.

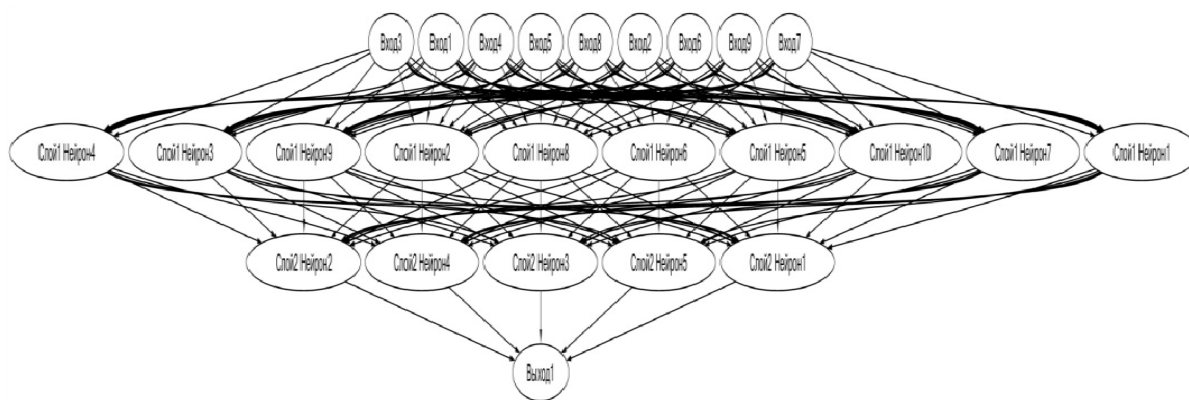


Рис. 4. Отримана топологія ШНС з двома прихованими шарами

Після навчання ШНС із застосуванням генетичного алгоритму отримали середньоквадратичну похибку, показану на рис.5.

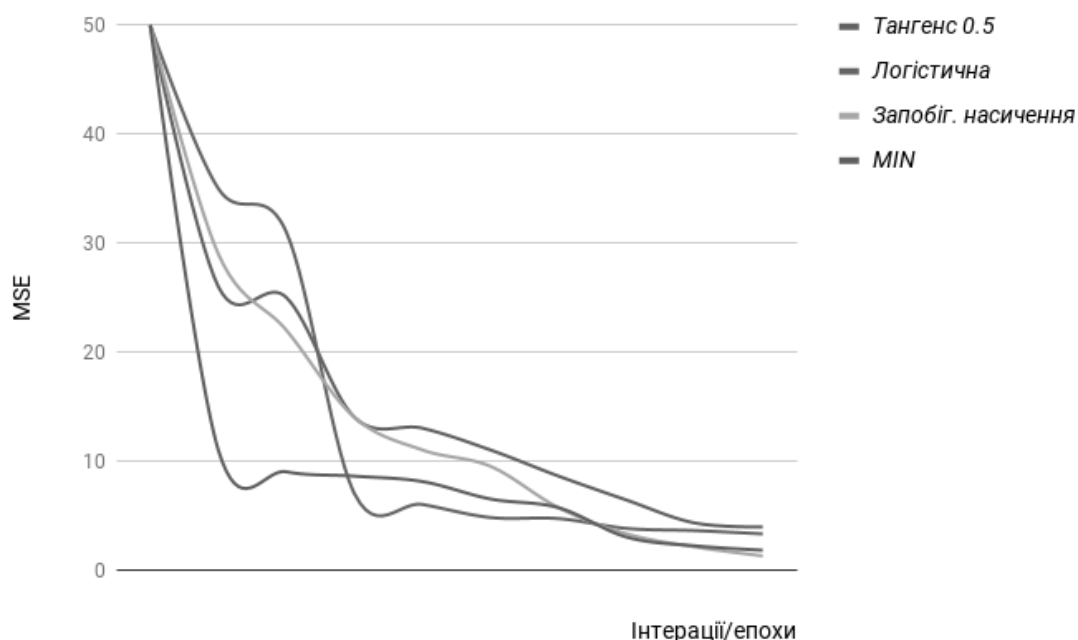


Рис. 5. – Середньоквадратична похибка після застосування генетичного алгоритму

Проаналізуємо помилку прогнозу для кожного випадку, що визначається по показнику *MSE*. Дані зазначені в таблиці 2.

Таблиця 3.

**Помилка прогнозу.**

<i>MSE</i>	тангенс 0,5	логістична	запобігання. насиченню	MIN
<i>Без застосування ГА</i>	6,7513	5,5764	4,9763	5,3791
<i>Із застосування ГА</i>	3,9345	3,4374	1,2854	1,8543

## Висновок

У даній роботі запропоновано вдосконалений спосіб кодування нейронної мережі при застосовано генетичного програмування для вибору оптимальної топології сітки. Двоточковий кросовер приймається для підвищення швидкості знаходження рішення. Оптимізований генетичний алгоритм використовується для вирішення проблеми низької швидкості навчання та недостатньої точності прогнозування. Це також запобігає нейронній сітці попадати в стан локального мінімуму.

## Список використаних джерел

1. Хомич А. В., Жуков Л. А. Оптимизация топологии рекуррентных и многослойных нейронных сетей с применением генетических алгоритмов // *Нейроинформатика-2004. Сборник научных трудов. Ч.2. М.: МИФИ, 2004. С.68-74.*
2. Ямпольский Л. С. *Нейротехнології та нейрокомп'ютерні системи: підручник / Л. С. Ямпольский, О. І. Лісовиченко, В. В. Олійник. – К.: «Дорадо-Друк», 2016. -576 с.: іл. – Бібліогр.:с. 537-551.*
3. Божич В. И., Лебедев О. Б., Шницер Ю. Л. Разработка генетического алгоритма обучения нейронных сетей. *Перспективные информационные технологии и интеллектуальные системы. – 2001. – №1. – С. 21-24.*
4. Koza J. R. *Genetic programming: On the Programming of Computers by Means of Natural Selection (Complex Adaptive Systems). The MIT Press. MA: Cambridge, 1992*
5. Darrel Whitley. *A Genetic Algorithm Tutorial, 1993.*
6. Барский А. Б. *Нейронные сети: распознавание, управление, принятие решений. - М.:»Финансы и статистика», 2004. 170 с.*
7. Koehn P. *Combining Genetic Algorithms and Neural Networks: The Encoding Problem // Master of Science Degree The University of Tennessee, Knoxville. - 1994.*
8. Рутковская, Д. *Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский; пер. с пол. И.Д. Рудинского. – М.: Горячая линия–Телеком, 2004. – 383 с*
9. Mitchell M. *An introduction to Genetic Algorithm. MIT Press, 1996.*
10. Y. H. Pengfei Guo, Xuezhi Wang, «The enhanced genetic algorithms for the optimization design» in 3rd International Conference on Biomedical Engineering and Informatics, pp. 2990 – 2994, 2010.

## Зміст

З. Х. Борукаев, К. Б. Остапченко, О. И. Лисовиченко <b>КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОРЫНКОМ</b> .....	3
А. А. Бугай, В. В. Олійник <b>КОЦЕПТУАЛЬНА МОДЕЛЬ АДАПТИВНОГО ВЕБ-ІНТЕРФЕЙСУ КОРИСТУВАЧА З ВИКОРИСТАННЯМ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ</b> .....	15
В. М. Бурлаков, В. Г. Кононович, І. В. Кононович <b>СИНЕРГІЯ ТА ТЕМПОДИНАМІКА ВДОСКОНАЛЕННЯ МОДЕЛІ КІБЕРНЕТИЧНИХ ЗАГРОЗ ЯДЕРНИХ ОБ'ЄКТІВ</b> .....	23
О. В. Гриша <b>ЗАВДАННЯ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ТА СТРУКТУРИ СЦЕНАРІЮ ВИКОНАННЯ ПРОЦЕСУ ДІЯЛЬНОСТІ</b> .....	37
Б. Ю. Жураковський, І. Р. Пархомей, В. А. Дружинін <b>ОБРОБКА ІНФОРМАЦІЇ В СЕНСОРНИХ МЕРЕЖАХ</b> .....	42
Г. И. Канюк, А. Ю. Мезеря, В. Н. Князева <b>СИНТЕЗ УНИФИЦИРОВАННЫХ МУЛЬТИПЛИКАТИВНЫХ РЕГУЛЯТОРОВ ДЛЯ ПРЕЦИЗИОННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ</b> .....	58
Г. И. Канюк, А. Ю. Мезеря, В. Е. Мельников <b>ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ АСТАТИЧЕСКОГО РЕГУЛЯТОРА САР ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ ГИДРОТУРБИНЫ НА ОСНОВЕ РЕШЕНИЯ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ ДИНАМИКИ</b> .....	68
Р. С. Клейменов, Т. А. Ліхоузова <b>ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КЕШУВАННЯ SQL ЗАПИТІВ</b> .....	78
Ю. А. Кулаков, Е. Ю. Лопушен <b>СПОСОБ ДИНАМИЧЕСКОЙ БАЛАНСИРОВКИ НАГРУЗКИ В ПРОГРАММНО-КОНФИГУРИРУЕМЫХ СЕТЯХ</b> .....	87
В. В. Михайленко, І. В. Майкович, Т. А. Наухацька <b>МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДВАНАДЦЯТИПУЛЬСНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА З ШЕСТИЗОННИМ РЕГУЛЮВАННЯМ НАПРУГИ</b> .....	92

А. С. Пантелеев, В.В. Олейник

**МЕТОД ВИЗУАЛЬНОГО МУЛЬТИТРЕКИНГА В РЕАЛЬНОМ  
ВРЕМЕНИ НА ОСНОВЕ КОРРЕЛЯЦИОННЫХ ФИЛЬТРОВ** ..... 97

І. Р. Пархомей, В. А. Паюн, Д. О. Сопильняк

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАЩИТНЫХ  
ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ** ..... 107

І. Р. Пархомей, В. А. Паюн, А. М. Ярич

**ОТРИМАННЯ ІНФОРМАЦІЇ ГРУПОВИМИ  
КЕРОВАНИМИ ОБ'ЄКТАМИ** ..... 114

І. Р. Пархомей, О. В. Яровий, А. В. Дибань

**МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ТАКТОВОЇ СИНХРОНІЗАЦІЇ З МЕТОЮ  
ПІДВИЩЕННЯ ШВИДКОДІЇ ТА ДИНАМІЧНОЇ ТОЧНОСТІ** ..... 120

А. В. Пархоменко, Р. І. Сегол, О. І. Лісовиченко

**ВИВЧЕННЯ МОТИВАЦІЇ СЛУХАЧІВ ОНЛАЙН-КУРСІВ** ..... 137

М. Н. Полищук

**СПОСОБ МУЛЬТИПЛИКАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО  
УСИЛИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО РОБОТА** ..... 146

Р. А. Стахов, О. П. Сирота

**ПРЕИМУЩЕСТВА ОТКРЫТОГО  
JSONWEBTOKEN ДЛЯ УПРОЩЕНИЯ ДОСТУПА  
В КЛИЕНТ-СЕРВЕРНЫХ ПРИЛОЖЕНИЯХ** ..... 153

А. А. Стенин, Е. Ю. Мелкумян, С. А. Стенин, А. А. Мизев

**ОПТИМАЛЬНОЕ РАЗМЕЩЕНИЕ ИНДУСТРИАЛЬНЫХ  
ПРЕДПРИЯТИЙ С МИНИМАЛЬНЫМИ ЭКОЛОГИЧЕСКИМИ  
ПОСЛЕДСТВИЯМИ ДЛЯ ДАННОГО ПРОМЫШЛЕННОГО РЕГИОНА** ..... 160

Ю. А. Тимошин, С. П. Орленко

**АЛГОРИТМ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБЛИЧЧЯ ЛЮДЕЙ  
НА БАЗІ ЗГОРТКОВОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ** ..... 166

С. О. Тітков, О. І. Лісовиченко

**МОДЕЛЬ ОПТИМАЛЬНОГО ВИБОРУ  
ТОПОЛОГІЇ ШТУЧНИХ НЕЙРОННИХ СІТОК  
З ВИКОРИСТАННЯМ ГЕНЕТИЧНОГО АЛГОРИТМУ** ..... 174

**УДК 004.89:65.011.56**

**Концепція побудови інформаційно-технологічної платформи проектування систем підтримки прийняття рішень для організаційного управління енергоринком** / Борукаєв З. Х. , Остапченко К. Б., Лісовиченко О. І. // Міжвідомчий науково-технічний збірник «Адаптивні системи автоматичного управління». -2018.- № 1 (32).- С.3-14

Робота присвячена вдосконаленню і деталізації підходу до розвитку засобів інформаційно-технологічного забезпечення єдиного програмного середовища проектування комп'ютерних моделей задач організаційного управління оптовим ринком електроенергії та автоматизації процесів прийняття рішень в системах організаційного управління. Основу таких засобів становить інформаційно-технологічна платформа, яка реалізує типові функції обробки і представлення структур даних, на базі яких користувач вирішує функціональні задачі предметної області організаційного управління оптовим ринком електроенергії. Ця платформа вимагає такої організаційної структури програмного середовища, при якій об'єкти предметної області та взаємозв'язки між ними були б визначені незалежно від реалізації функціональних задач обробки даних в процедурах і інтерфейсах системи, і представляла собою єдину структуру. В результаті буде створена системна основа формування єдиного інформаційного середовища побудови комп'ютерної системи управління задля моніторингу виробничих показників суб'єктів оптового ринку електроенергії, що знизить ризик, складність та витрати при переході до нових задач управління.

*Ключові слова:* організаційне управління, оптовий ринок електроенергії, система підтримки прийняття рішень, інформаційно-технологічна платформа

Бібл. 6, іл. 2

**УДК 004.514**

**Концептуальна модель адаптивного веб-інтерфейсу користувача з використанням інтелектуальних технологій**/ Бугай А. А., Олійник В. В. // Міжвідомчий науково-технічний збірник «Адаптивні системи автоматичного управління». -2018.- № 1 (32).- С. 15-22

Об'єктом дослідження є зручність роботи користувачів з веб-додатками. У статті розглянуто традиційний підхід до побудови інтерфейсів користувача та вказано його недоліки. Так такі інтерфейси користувача не враховують особливостей окремих користувачів і не задовольняють сучасним вимогам щодо зручності використання.

Метою роботи є підвищення ефективності людино-машинної взаємодії в сучасних веб-додатках. Для досягнення мети запропоновано модель, що дозволяє адаптувати інтерфейс під потреби користувача. Пропонується використовувати метод опорних векторів та алгоритм колаборативної фільтрації для визначення конфігурації зовнішнього вигляду інтерфейсу та реалізувати систему з використанням мікросервісної архітектури. Запропонований підхід дозволяє підвищити зручність користування та заощадити час користувачів для вирішення задач в додатку.

*Ключові слова:* адаптивний інтерфейс користувача, веб-додаток, архітектура програмного забезпечення, людино-машинна взаємодія.

Бібл. 5, іл. 2



### **УДК 004.05.7:681.3.07**

**Синергія та темподинаміка вдосконалення моделі кібернетичних загроз ядерних об'єктів** / В. М. Бурлаков, В. Г. Кононович, І. В. Кононович// Міжвідомчий науково-технічний збірник «Адаптивні системи автоматичного управління». -2018.- № 1 (32).-С. 23-36

Метою роботи є створення синергійної моделі проектних загроз інформаційній, кібернетичній та ядерній безпеці критично важливих об'єктів ядерної енергетики України. Для досягнення мети вирішуються завдання: формулювання принципів побудови проектною моделі кіберзагроз автоматизованим системам технологічного й адміністративного управління, важливих для забезпечення ядерної безпеки; складання переліку проектних кіберзагроз із урахуванням цільової діяльності підприємства, особливостей і вразливостей об'єктів ядерної сфери; розроблення формалізованої дискретної математичної моделі періодичного вдосконалення переліку проектних кіберзагроз.

*Ключові слова:* інформаційна безпека, кібербезпека, ядерна безпека, об'єкти критичної інфраструктури, проектні загрози, модель динамічної системи, циклічне управління.

Бібл. 22

### **УДК 658.012**

**Завдання визначення параметрів та структури сценарію виконання процесу діяльності** / Гриша О. В. // Міжвідомчий науково-технічний збірник «Адаптивні системи автоматичного управління». -2018.- № 1 (32).-С. 37-41

Розглянуто завдання вибору параметрів та структури сценарію виконання процесу діяльності по критерію максимізації цільових показників діяльності.

В результаті динаміки бізнес середовища, щоб досягти цих показників персоналу приходиться все частіше і частіше визначені раніше послідовності виконання кроків (модель) процесу діяльності замінювати на точки прийняття рішень. До цього призводить зростання складності бізнеса як об'єкта управління і відповідно невизначеності функції відображення результату виконання конкретної операції діяльності та вибору шляху продовження процесу на результуючі показники.

В статті визначимо типи ситуацій прийняття рішень персоналом у сценарії виконання процесу:

В поданій ситуації на прийняття рішення впливає також визначення ступеня новизни даної ситуації прийняття рішення в порівнянні з минулими екземплярами виконання процесу. Для визначення ступеня новизни запропонований перелік параметрів.

На основі визначеного поставлено завдання знаходження оптимальної змішаної стратегії вибору параметрів та напрямків розвитку сценарію виконання процесу діяльності по критерію максимізації цільових показників діяльності. Для вирішення цього завдання запропоновано модель досягнення цілей процесу діяльності як теоретико-множинну модель.

Для вирішення поставленої задачі запропоновано евристичний алгоритмом, що дає знаходження наближеного достатньо ефективного рішення.

*Ключові слова:* моделювання складних систем, показники діяльності, Process mining.

Бібл. 2.

### **УДК 681.31**

**Обробка інформації в сенсорних мережах/ Жураковський Б. Ю., Пархомей І. Р., Дружинін В. А.// Міжвідомчий науково-технічний збірник «Адаптивні системи автоматичного управління». -2018.- № 1(32).-С. 42-57**

Актуальність дослідження обумовлена наступними причинами: динамічний розвиток бездротових сенсорних мереж, суттєве збільшення кількості інформації, яка передається цими мережами, збільшення можливостей самих сенсорів.

У багатьох сферах людської життєдіяльності часто стоїть завдання збору даних, які надходять від великого числа джерел, їх обробки, і забезпечення реакції, відповідної зафіксованим подіям. Щоб здійснювати подібну діяльність автоматизовано, необхідно забезпечити обмін інформацією між усіма цими пристроями, тобто створити єдину мережу датчиків і виконавчих пристроїв. Але провідна мережа може бути прийнятна тільки у вузькому колі завдань, бо занадто масивна, дорога, вимагає складного монтажу, налагодження та обслуговування, непридатна для мініатюрних або мобільних об'єктів. Тому частіше зупиняються на створенні бездротової мережі, яка за допомогою відповідних датчиків забезпечує збір, передачу та обробку інформації. Завдяки тому, що інформація передається радіоканалом мережа забезпечує простоту налагодження та обслуговування, можливість роботи з мобільними та мініатюрними об'єктами.

Однак звичайні бездротові мережі за своєю конфігурацією, протоколами та алгоритмами дещо відрізняються від сенсорних бездротових мереж, які мають свої особливості та вимоги.

В статті наведено основні відмінності сенсорних і бездротових мереж, проблеми і особливості сучасних бездротових сенсорних мереж. Основні області, де сенсорні системи вкрай необхідні сьогодні: охорону здоров'я, військове застосування, системи спостереження і моніторингу, охорони периметрів, системи домашньої і промислової автоматизації, охорона навколишнього середовища, агропромисловий комплекс.

Розглянуто структура та архітектура сенсорних мереж, а також застосування бездротових сенсорних мереж. До вузлів, що входять до складу сенсорних мереж пред'являються досить жорсткі і специфічні вимоги. Перш за все, це тривале функціонування від автономного джерела живлення, наявність бездротового інтерфейсу широкі мережеві можливості, включаючи самоорганізацію, динамічну аутентифікацію, гнучкі механізми маршрутизації, і т.п. Сенсорна мережа, крім усього іншого, може бути вельми і вельми масштабною, нараховуючи сотні тисяч вузлів, маючи при цьому складну топологічну структуру. І при всьому цьому кожен подібний вузол повинен мати вкрай низьку вартість і володіти мінімально можливими розмірами.

Крім того однією з основних проблем сучасних бездротових сенсорних мереж є стиснення даних і контроль трафіку, що передається. Існує досить багато різних алгоритмів стиснення інформації, серед яких найбільш поширеними і широко відомими є алгоритм Хаффмана, алгоритм арифметичного стиснення та алгоритм Лемпеля-Зива.

В статті проведено аналіз існуючих алгоритмів стиснення та показана їх неефективність, запропоновано використання методів стиснення для передачі, такі як лінійні, матричні, каскадні та комбіновані.

Розроблені методи, на відміну від існуючих, засновані на використанні можливості стиснення невеликих обсягів інформації та її передачі. До лінійних методів відносяться стиснення даних із використанням замість повторень додаткових символів, а також зміна основи коду. До матричних - стиснення інформації з типовими матрицями. Каскадні та комбіновані методи стиснення є комбінаціями лінійних і матричних методів в різних комбінаціях.

Запропоновані методи можуть бути реалізовані як на етапі розробки, так і на етапі експлуатації сенсорних мереж.

Ключові слова. Бездротові сенсорні мережі, сенсори, алгоритми стиснення, методи стиснення при передачі, коефіцієнт стиснення.

### **УДК: 681.513.6**

**Синтез уніфікованих мультиплікативних регуляторів для прецизійних систем управління технологічними процесами** / Канюк Г. І., Мезеря А. Ю., Князева В. М. // Міжвідомчий науково-технічний збірник «Адаптивні системи автоматичного управління». -2018.- № 1 (32).-С. 58-67

У статті системно викладено основні принципи структурного синтезу уніфікованих мультиплікативних регуляторів для прецизійних електронно-гідравлічних систем, що стежать, використовуваних в сучасних автоматизованих системах управління технологічними процесами. Сформульовано і представлені в типовій універсальній формі, зручній для динамічного аналізу і синтезу алгоритмів керування, лінеаризовані математичні моделі виділених автономних контурів управління; показано, що динамічні процеси в цих контурах можуть бути досить точно описані математичними моделями не вище третього порядку. Синтезовані уніфіковані ефективні алгоритми управління, що забезпечують для кожного контуру управління високі показники якості (точності і швидкодії). Синтезовані спостерігачі стану (еталонні моделі) контурів, що дають інформацію про всіх необхідних для управління параметрах стану. Результати роботи використовувалися при створенні швидкодіючих прецизійних систем управління на енергетичних та машинобудівних підприємствах.

Ключові слова: системи автоматичного управління, прецизійні регулятори, математичні моделі, мультиплікативне управління, структурно-параметричний синтез.

Бібл. 7, іл. 3

### **УДК 621.313.322-52**

**Параметричний синтез астатичного регулятора САР частоти обертання гідротурбіни на основі розв'язання оберненої задачі динаміки** / Канюк Г. І., Мезеря А. Ю., Мельников В. Є. // Міжвідомчий науково-технічний збірник «Адаптивні системи автоматичного управління». -2018.- № 1 (32).-С. 68-77

Для синтезу прецизійного регулятора гідроагрегату використаний метод обернених задач динаміки, який в плані швидкодіючих і прецизійних регуляторів є найбільш перспективним, оскільки дозволяє забезпечити передавальну функцію загального

контур управління прагне до одиниці. Це означає можливість досягнення максимальних значень статичної та динамічної точності.

У статті описана структура і принцип дії астатичного регулятора САР Ч і П гідротурбіни, на основі критерію мінімуму інтеграла від добутку абсолютного значення помилки на час виконані параметричний синтез і оптимізація прецизійного регулятора САР Ч і П гідротурбіни.

У статті запропоновано регулятор, який на відміну від існуючих не містить контурів диференціювання, хоча реалізує диференціальні закони управління. Ця перевага, оскільки регулювання в реальних системах пов'язане з певними проблемами і помилками. Він включає тільки пропорційні інтегральні контури, охоплені відповідними зворотними зв'язками. Схема регулятора є універсальною, кількість контурів залежить від динамічного порядку системи, яка визначається його математичною моделлю.

Ключові слова: гідроагрегат, астатичний регулятор, математична модель, параметричний синтез.

Бібл. 11, іл. 2.

#### **УДК 004.042**

**Підвищення ефективності кешування SQL запитів/** Клейменов Р. С., Ліхоузова Т. А. // Міжвідомчий науково-технічний збірник «Адаптивні системи автоматичного управління». -2018.- № 1 (32).-С. 78-86

Розглядається проблема ефективного кешування SQL запитів. В статті проведено порівняльний аналіз стандартних структур даних мови програмування Java, розглянуто їх основні особливості, переваги та недоліки. Наведено результати серії експериментів по тестуванню структур даних як сховища ключів (SQL стрічок), яку було проведено на задалегідь імплементованому кеші запитів. Запропоновано структури даних, яких немає в стандартній бібліотеці Java, виконано їх реалізацію. Експериментально доведено, що використання таких структур даних дає кращі результати при кешуванні SQL запитів.

*Ключові слова:* кешування, веб-додаток, інвалідація, Java.

Бібл. 8, іл. 7, табл. 5

#### **УДК 004.75**

**Спосіб динамічного балансування навантаження в програмно конфігурованих мережах /** Кулаков Ю.А., Лопушен Є.Ю. // Міжвідомчий науково-технічний збірник «Адаптивні системи автоматичного управління». -2018.- № 1 (32).-С. 87-91

В даній статті запропоновано спосіб балансування навантаження в програмно-конфігурованих мережах. Спосіб дозволяє раціонально використовувати наявні ресурси, шляхом включення в мережу тільки тих вузлів кластера, які необхідні в даний момент. Засобами SDN виконується моніторинг завантаженості кластера, приймається рішення про горизонтальне масштабування додатку. В якості резервного ресурсу використовуються вузли на стороні постачальника хмарних обчислень, на які переноситься

Міжвідомчий науково-технічний збірник «Адаптивні системи автоматичного управління» № 1' (32) 2018 навантаження в разі нестачі ресурсів в локальному кластері. Така функціональність реалізована в контролері програмно-конфігурованої мережі, використовуючи стандартні засоби автоматичної розгортки вузлів в хмарі. Проведено моделювання застосування способу в емуляторі Mininet, проаналізовані результати, визначені напрями подальшого розвитку запропонованого способу.

*Ключові слова:* програмно-конфігуровані мережі, SDN-контролер, балансування навантаження, гібридна хмара, mininet.

Бібл. 5, іл. 3, табл. 1

УДК 621.3.011.74.005

**Математична модель дванадцятипульсного перетворювача з шестизонним регулюванням напруги** / Михайленко В. В., Майкович І. В., Наухацька Т. А. // Міжвідомчий науково-технічний збірник «Адаптивні системи автоматичного управління». - 2018.- № 1 (32).-С. 92-96

У статті проведено аналіз електромагнітних процесів в електричних колах з напівпровідниковими комутаторами. Створено математичну модель дванадцятипульсного напівпровідникового перетворювача з шестизонним регулюванням вихідної напруги для аналізу електромагнітних процесів у напівпровідникових перетворювачах з широтно-імпульсним регулюванням. Наведено графіки, що відображають електромагнітні процеси у електричних колах. Математична модель напівпровідникового перетворювача також використовується для дослідження перехідних процесів у напівпровідникових перетворювачах з активно-індуктивним навантаженням. Розвинуто метод багато параметричних функцій, які входять до алгоритмічних рівнянь аналізу ustalених і перехідних процесів у розгалужених електричних колах з напівпровідниковими комутаторами і реактивними елементами, в напрямку урахування особливостей використання фазних і лінійних напруг мережі електроживлення. Розроблено нову математичну модель ustalених і перехідних процесів у електричних колах напівпровідникових перетворювачів модуляційного типу з багатоканальним зонним використанням фазних напруг трифазної мережі живлення без урахування втрат електроенергії у комутаторах для швидкої оцінки впливу параметрів навантаження на характеристики регульованих синусоїдних і постійних напруг. Результати цієї роботи можна використати для розвитку методу багатопараметричних модулюючих функцій для спрощення аналізу перехідних процесів у електричних колах без врахування втрат у ключових елементах.

*Ключові слова:* напівпровідниковий перетворювач, шестизонне регулювання напруги, електромагнітні процеси.

Бібл. 4, іл. 3

УДК 004.056.5

**Метод візуального мультітрекінга в реальному часі на основі кореляційних фільтрів** / Пантелєєв О. С., Олійник В. В. // Міжвідомчий науково-технічний збірник «Адаптивні системи автоматичного управління». -2018.- № 1 (32).-С. 97-106

Об'єктом дослідження є візуальне відстеження множини об'єктів в реальному часі. У статті розглянуто та вказано на обмеження типового методу відстеження на основі детектування, із застосуванням динамічної моделі для визначення переміщення цілі на кадрі і фільтра Калмана для коригування параметрів моделі. Він сильно залежить від швидкості роботи детектора і погано справляється з відстеженням цілі, яка рухається нелінійно.

Метою роботи є підвищення надійності трекінгу при відстежити маневрених цілей. Для досягнення мети пропонується використовувати метод трекінгу на основі детектування, в якому для побудови траєкторії об'єкта між ключовими кадрами використовуються адаптивні кореляційні фільтри замість динамічної моделі. Запропонований підхід дозволяє підвищити точність і надійність трекінгу об'єктів, що рухаються нелінійно.

Ключові слова: Комп'ютерний зір, візуальний трекінг, кореляційний фільтр, мультітрекінг, трекінг на основі детектування.

Бібл. 18, іл. 5

### **УДК 531**

**Моделювання характеристик захисних діелектричних покриттів / Пархомей І. Р., Паюн В. А., Сопільняк Д. О. // Міжвідомчий науково-технічний збірник «Адаптивні системи автоматичного управління». -2018.- № 1 (32).-С. 107-113**

Стаття присвячена розробці методів радіолокації повітряних об'єктів зі штучно зниженою ефективною площею віддзеркалення, застосування яких дозволяє підвищити ефективність функціонування РЛС, які засновані на фізичному принципі отримання радіолокаційної інформації про повітряний об'єкт за рахунок резонансного збудження внутрішньої структури радіопоглинаючого покриття літального апарату під час опромінення НВЧ електромагнітним полем.

Розроблені методи, на відмінність від існуючих, базуються на використанні можливості збудження радіопоглинаючих матеріалів за рахунок резонансної частотно-фазової взаємодії кристалічної структури з НВЧ сигналом опромінення в інтересах підвищення ефективності радіолокації радіолокаційних об'єктів зі штучно зниженою ЕПВ.

Запропоновані методи можуть бути реалізовані на етапах виявлення і супроводження РЛС сучасних радіолокаційних об'єктів.

З цією метою розроблені рекомендації щодо удосконалення основних систем РЛС.

*Ключові слова:* ефективна площа віддзеркалення, резонансне збудження кристалічної структури, радіопоглинаюче покриття.

Бібл. 5

### **УДК 621.398.96**

**Отримання інформації груповими керованими об'єктами/ Пархомей І. Р., Паюн В. А., Ярич А. М.// Міжвідомчий науково-технічний збірник «Адаптивні системи автоматичного управління». -2018.- № 1(32).-С. 114-119**

Актуальність дослідження обумовлена наступними причинами: динамічний розвиток авіаційної техніки, широке впровадження провідних країн - виробників авіаційної техніки штучного скорочення, збільшення частки літаків з штучним інтелектом, що знижують можливості існуючих радіолокаційних радарів, відсутність реалізації потенціалу радарів під час виявлення і супроводу повітряних цілей з штучним інтелектом.

Ситуація викликала об'єктивну суперечність в практиці радарів щодо літаків.

Зростаюча увага з боку державних діячів, вчених, конструкторів із створення нових радіолокаційних об'єктів і модернізації існуючих РЛС, нових стратегічних концеп-

Міжвідомчий науково-технічний збірник «Адаптивні системи автоматичного управління» № 1' (32) 2018  
цій, що лежать в основі державних програм провідних країн світу, бурхливий розвиток технологій, в першу чергу авіації, встановлює вимоги для підвищення рівня радіолокаційних можливостей.

Істотні вимоги зростання для РЛС, що продовжують широко застосовуватись на практиці, необхідність підвищення якості і кількості ефективності радіолокаційних систем до необхідного рівня без орієнтації на РЛС виявлення і супроводу повітряних цілей з штучно заниженою ефективною площею відображення, необхідність модернізації існуючих і створення нових найкращих систем радіозв'язку для потреб України, відсутність науково-методичного підходу для визначення шляхів підвищення ефективності нового літака РЛС, необгрунтовані рекомендації щодо підвищення ефективності РЛС для визначення напрямку досліджень.

Стаття присвячена розвивати методи радіолокації, які штучно змінені шляхом ефективною площі відображення; це дозволяє підвищити ефективність роботи для радіолокаційних станцій, які засновані на фізичному принципі прийому радіолокаційної інформації про повітряну ціль на рахунок резонансного збудження внутрішньої структури, що охоплює літальний апарат, що надходить в опромінення радіочастотної електромагнітної зони.

Розроблені методи, на відміну від існуючих, засновані на використанні можливості "радіо збудження" матеріалу, щоб визначити резонансну частотно-фазову взаємодію кристалічної структури з більшим радіочастотним сигналом опромінення для збільшення повітряного показника ККД радіолокації шляхом ефективною площі дифузії.

Запропоновані методи можуть бути реалізовані на етапі пошуку і "акомпанементів" радіолокаційних станцій сучасних повітряних показників. Ціцільовказівки призначені для поліпшення основних систем радіолокаційних станцій.

Ключові слова: ефективна площа відображення, резонансне збудження кристалічної структури, радіо покриття.

Бібл. 4, іл. 2

### **УДК 004.383**

**Модернізація системи тактової синхронізації з метою підвищення швидкодії та динамічної точності** / Пархомей І. Р., Яровий О. В., Дибань А. В. // Міжвідомчий науково-технічний збірник «Адаптивні системи автоматичного управління». -2018.- № 1 (32).-С. 120-136

В статті виконується аналіз стійкості існуючої системи тактової синхронізації методом логарифмічних частотних характеристик, та аналіз режимів та методів синхронізації мереж.

Як показує аналіз її математичної моделі, система має динамічні помилки та час перехідного процесу. Це являється значним недоліком, який зменшує продуктивність системи передачі даних і може призвести до приймання невірної інформації або до втрати зв'язку.

Після порівняльної оцінки способів підвищення швидкодії і динамічної точності в роботі обраний метод підвищення швидкодії та динамічної точності шляхом введення

складової в систему розімкненого зв'язку за бажаною дією – фазі тактових імпульсів. Цей зв'язок не впливає на стійкість замкненої частини системи і через це її параметри можуть бути синтезовані в відповідності з умовами покращення перехідного процесу та зменшення динамічних помилок, тобто при введенні зв'язку усувається протиріччя між умовами підвищення динамічної точності та стійкості. Синтез зв'язку по заданій дії виконаний в відповідності з умовами компенсації повільно затухаючої компоненти перехідної складової помилки, завдяки чому вдалося одночасно підвищити швидкодію і динамічну точність системи тактової синхронізації.

*Ключові слова:* система тактової синхронізації, принцип керування по відхиленню, передаточна функція, метод логарифмічних частотних характеристик, динамічна точність  
Бібл.5, іл. 8

### **УДК378.147:159.95:519.816**

**Вивчення мотивації слухачів онлайн-курсів** /Лісовиченко О. І., Пархоменко А. В., Сегол Р. І.// Міжвідомчий науково-технічний збірник «Адаптивні системи автоматичного управління». -2018.- № 1(32).-С. 137-145

Об'єктом дослідження є мотивація слухачів онлайн-курсів. На сьогодні вона є досить низькою, про що свідчать численні дослідження в цій області. Вважається нормальним рівень успішного завершення курсу 7-8% його слухачів. Слухачі, які мали достатньо мотивації, щоб підписатися на онлайн-курс, втратили її в процесі навчання.

Метою роботи є вивчення мотиваційних чинників для слухача онлайн-курсів та способів підвищення мотивації конкретного студента. Для досягнення мети було подано аналіз мотиваційних чинників, які впливають на слухачів онлайн-курсів, проаналізовано наявні методики тестування особистості, виокремлено індивідуально-психологічні мотиваційні чинники та мотиваційні елементи навчального процесу. Запропоновано концепцію визначення способів підвищення мотивації за допомогою методу аналізу ієрархій, яка покликана призвести до збільшення коефіцієнта успішності онлайн-навчання.

*Ключові слова:* індивідуально-психологічні критерії, коефіцієнт успішного завершення, метод аналізу ієрархій, методика тестування особистості, мотивація, мотиваційні чинники, онлайн-навчання, проєктивні методики.

Бібл. 30, іл. 1.

### **УДК 621.865.8**

**Спосіб мультиплікації технологічного зусилля промислового робота** / Поліщук М. М. // Міжвідомчий науково-технічний збірник «Адаптивні системи автоматичного управління». -2018.- № 1 (32).-С. 146-152

Розглядається принципово новий спосіб мультиплікації робочих зусиль технологічних модулів промислових роботів. На відміну від класичного способу мультиплікації зусилля із застосуванням пневмогідролічних приводів, запропоноване технічне рішення на основі рухливої гідравлічної камери дозволяє суттєво підвищити продуктивність виконання силових технологічних операцій.



Пропонований привод ефективний, коли потрібно, використовуючи швидкодію привода холостого ходу, багаторазово (у десятки раз) збільшити силу робочого інструмента, у тому числі й устанавленого на руці робота. Наприклад, при виконанні таких технологічних операцій як запресовування, розвальцьовування, прошивання, точкове зварювання й інших силових операцій.

*Ключові слова:* пневматичні й гідравлічні підсилювачі, технологічні модулі промислових роботів, пресове встаткування

Бібл. 4, іл. 3

### **УДК 004.056.5**

**Переваги відкритого стандарту jsonwebtoken для спрощення доступу у клієнт-серверних додатках** / Стахов Р. О., Сирота О. П. // Міжвідомчий науково-технічний збірник «Адаптивні системи автоматичного управління». -2018.- № 1(32).-С. 153-159

Об'єктом дослідження є відкритий стандарт створення токенів доступу jsonwebtoken для спрощення доступу у клієнт-серверних додатках. У статті приведені механізми та способи роботи та взаємодії технології JWTта веб-додатків. Їй притаманні певні обмеження. Так відсутність добре захищених каналів передачі токенів ставить під загрозу увесь механізм безпечної аутентифікації та авторизації, тож це лягає на плечі замовників послуги передачі контенту.

Метою роботи є ознайомленні із механізмами роботи даної технології та її використання. Для досягнення захищеності пропонується зовсім інший спосіб реалізації процесів авторизації та аутентифікації, що суттєво сприяє не тільки оптимізації та прискоренню веб-додатків без внесення значних конструктивних змін, але й підвищує захищеність усіх користувачів без виключення. Успішність всієї системи JWT базується на розробленому ефективному алгоритмі розділення авторизаційних даних на кілька частин, кожна з яких має свій спосіб шифрування.

*Ключові слова:* JWT, JSON, токен, авторизація, доступ, аутентифікація, стандарт.

Бібл. 9, іл. 1, табл 1

### **УДК 519.6**

**Оптимальне розміщення індустріальних підприємств з мінімальними екологічними наслідками для даного промислового регіону/** Стенін О. А., Мелкумян К. Ю., Стенін С. О., Мізьов О. А. // Міжвідомчий науково-технічний збірник «Адаптивні системи автоматичного управління». -2018.- № 1(32).-С. 160-165

У даній статті вирішується задача оптимального розміщення нових промислових підприємств у вибраному регіоні з такою умовою, що б сумарне річне забруднення шкідливих промислових викидів не перевищувало допустимих санітарних норм і загальне екологічне навантаження на весь регіон за рахунок забруднення від даного підприємства була мінімальною, але в межах допустимих санітарних норм. Розглянута загальна математична модель і типові ситуації. Слід зазначити, що глобальна оцінка забруднення в даній задачі оптимізації вирішується для всього регіону, але вона може

не задовольняти специфічним умовам для всіх екологічно значущих зон. Також в статті вказані методи розв'язання задачі оптимізації і дана інтерпретація окремих і загальних результатів.

*Ключові слова:* рівняння Нав'є-Стокса, екологічно значимі зони, інтегральні критерії забруднення, методи прямого моделювання, лінійне програмування.

Бібл. 6.

#### **УДК 004.932.2**

**Алгоритм розпізнавання обличчя людей на базі згорткової нейронної мережі/** Тимошин Ю. А., Орленко С. П. // Міжвідомчий науково-технічний збірник «Адаптивні системи автоматичного управління». -2018.- № 1(32).-С. 166-173

У статті розглянуті методи детектування та розпізнавання облич, проаналізована можливість їх комбінації з метою побудови комп'ютерної системи розпізнавання. Отриманий результат дозволив виділити переваги та недоліки при проектуванні системи розпізнавання у розглянутій в статті області застосування. Розроблено алгоритм та реалізована програма ідентифікації обличчя особи.

*Ключові слова:* система ідентифікації, розпізнавання обличчя, ключові точки і ознаки, нейронна мережа, виділення області, помилкові спрацьовування.

Бібл. 6, іл.5.

#### **УДК 004.89**

**Модель оптимального вибору топології штучних нейронних сіток з використанням генетичного алгоритму /** С. О. Тітков, О. І. Лісовиченко// Міжвідомчий науково-технічний збірник «Адаптивні системи автоматичного управління». -2018.- № 1(32).-С. 174-181

В даній статті розглянуто проблему вибору оптимальної топології нейронної сітки та шляхи її вирішення. З причини різноманітності класів задач постає проблема вибору методу рішення та його ефективність. Наведено результати роботи генетичного алгоритму в процесі вибору топології нейронної сітки та на практиці доведено перевагу даного підходу.

*Ключові слова:* генетичний алгоритм, штучні нейронні сітки, топологія нейронної сітки, нейроеволюційний алгоритм, ШНС.

Бібл. 10, іл. 5, табл. 3

**УДК 004.89:65.011.56**

**Концепция построения информационно-технологической платформы проектирования систем поддержки принятия решений для организационного управления энергорынком** / Борукаев З. Х., Остапченко К. Б., Лисовиченко О. И. // Межведомственный научно-технический сборник «Адаптивные системы автоматического управления». -2018.- № 1 (32).-С. 3-14

Работа посвящена совершенствованию и детализации подхода к развитию средств информационно-технологического обеспечения единой программной среды проектирования компьютерных моделей задач организационного управления оптовым рынком электроэнергии и автоматизации процессов принятия решений в системах организационного управления. Основу таких средств составляет информационно-технологическая платформа, которая реализует типовые функции обработки и представления структур данных, на базе которых пользователь решает функциональные задачи предметной области организационного управления оптовым рынком электроэнергии. Эта платформа требует такой организационной структуры программной среды, при которой объекты предметной области и взаимосвязи между ними были бы определены независимо от реализации функциональных задач обработки данных в процедурах и интерфейсах системы, и представляла собой единую структуру. В результате будет создана системная основа формирования единой информационной среды построения компьютерной системы управления для мониторинга производственных показателей субъектов оптового рынка электроэнергии, что снизит риск, сложность и затраты при переходе к новым задачам управления.

*Ключевые слова:* организационное управление, оптовый рынок электроэнергии, система поддержки принятия решений, информационно-технологическая платформа

Библ. 6, ил. 2

**УДК 004.514**

**Концептуальная модель адаптивного веб-интерфейса с использованием интеллектуальных технологий** / Бугай А. А., Олійник В. В.// Межведомственный научно-технический сборник «Адаптивные системы автоматического управления». -2018.- № 1(32).-С. 15-22

Объектом исследования является удобство работы пользователей с веб-приложениями. В статье рассмотрены традиционный подход к построению пользовательских интерфейсов и указано его недостатки. Так такие интерфейсы не учитывают особенностей отдельных пользователей и не удовлетворяют современным требованиям по удобству использования.

Целью работы является повышение эффективности человеко-компьютерного взаимодействия в современных веб-приложениях. Для достижения цели предложена модель, позволяющая адаптировать интерфейс под нужды пользователя. Предлагается использовать метод опорных векторов и алгоритм колаборативной фильтрации для определения конфигурации внешнего вида интерфейса и реализовать систему с использованием мик-

росервисной архитектуры. Предложенный подход позволяет повысить удобство пользования и сэкономить время пользователей для решения задач в приложении.

*Ключевые слова:* адаптивный интерфейс, веб-приложение, архитектура программного обеспечения, человеко-компьютерное взаимодействие.

Библ. 5, ил. 2

#### **УДК 004.05.7:681.3.07**

**Синергия и темподинамика усовершенствования модели кибернетических угроз ядерных объектов** / Бурлаков В. М., Кононович В. Г., Кононович И. В. // Межведомственный научно-технический сборник «Адаптивные системы автоматического управления». -2018.- № 1 (32).-С. 23-36

*Анотация:* Прогресс систем управления сложными критически важными объектами сопровождается увеличением кибернетических угроз ядерной безопасности. Целью работы является создание синергической модели проектных угроз информационной, кибернетической и ядерной безопасности критически важных объектов ядерной энергетики Украины. Для достижения цели решаются следующие задачи: формулирование принципов построения проектной модели киберугроз автоматизированным системам технологического и административного управления, важных для обеспечения ядерной безопасности; составление номенклатуры проектных киберугроз с учетом целевой деятельности предприятия, особенностей и уязвимостей объектов ядерной сферы; разработка формализованной дискретной математической модели периодического усовершенствования номенклатуры проектных киберугроз. Решение данных задач позволит повысить качество работы по обеспечению ядерной безопасности в условиях действия кибернетических угроз.

*Ключевые слова:* информационная безопасность, кибербезопасность, ядерная безопасность, объекты критической инфраструктуры, проектные угрозы, модель динамической системы, циклическое управление.

Библ. 22

#### **УДК 658.012**

**Задание определения параметров и структуры сценария выполнения процесса деятельности** / Гриша Е. В. // Межведомственный научно-технический сборник «Адаптивные системы автоматического управления». -2018.- № 1 (32).-С. 37-41

Рассмотрено задание выбора параметров и структуры сценария выполнения процесса деятельности по критерию максимизации целевых показателей деятельности.

В результате динамики бизнес среды, чтобы достичь этих показателей, персоналу приходится все чаще и чаще определенные ранее последовательности выполнения шагов (модель) процесса деятельности заменять на точки принятия решений. К этому приводит и рост сложности бизнеса как объекта управления и, соответственно, неопределенности функции отображения результата выполнения конкретной операции деятельности и выбора пути продолжения процесса на результирующие показатели.

В статье определим типы ситуаций принятия решений персоналом в сценарии выполнения процесса.

В представленной ситуации на принятие решения влияет также определение степени новизны данной ситуации принятия решения в сравнении с прошлыми экземплярами выполнения процесса. Для определения степени новизны предложен перечень параметров.

На основе определенного поставлена задача нахождения оптимальной смешанной стратегии выбора параметров и направлений развития сценария выполнения процесса деятельности по критерию максимизации целевых показателей деятельности. Для решения этой задачи предложена модель достижения целей процесса деятельности как теоретико-множественная модель.

Для решения поставленной задачи предложен эвристический алгоритм, который дает нахождение приближенного достаточно эффективного решения.

*Ключевые слова:* моделирование сложных систем, показатели деятельности, Process mining.

Библ. 2.

### **УДК 681.31**

**Обработка информации в сенсорных сетях / Жураковский Б. Ю., Пархомей И. Р., Дружинин В. А. // Межведомственный научно-технический сборник «Адаптивные системы автоматического управления». -2018.- № 1 (32) .- С. 42-57**

Актуальность исследования обусловлена следующими причинами: динамичное развитие беспроводных сенсорных сетей, существенное увеличение количества информации, которая передается этими сетями, увеличение возможностей самих сенсоров.

Во многих сферах человеческой жизнедеятельности часто стоит задача сбора данных, поступающих от большого числа источников, их обработки и обеспечение реакции, соответствующей зафиксированным событиям. Чтобы осуществлять, подобную деятельность автоматизировано, необходимо обеспечить обмен информацией между всеми этими устройствами, то есть создать единую сеть датчиков и исполнительных устройств. Но ведущая сеть может быть приемлема только в узком кругу задач, так как слишком массивная, дорогая, требует сложного монтажа, наладки и обслуживания, непригодна для миниатюрных или мобильных объектов. Поэтому чаще останавливаются на создании беспроводной сети, с помощью соответствующих датчиков обеспечивает сбор, передачу и обработку информации. Благодаря тому, что информация передается по радиоканалу, сеть обеспечивает простоту настройки и обслуживания, возможность работы с мобильными и миниатюрными объектами.

Однако обычные беспроводные сети по своей конфигурации, протоколами и алгоритмами несколько отличаются от сенсорных беспроводных сетей, которые имеют свои особенности и требования.

В статье приведены основные различия сенсорных и беспроводных сетей, проблемы и особенности современных беспроводных сенсорных сетей. Основные области, где сенсорные системы крайне необходимы сегодня: здравоохранение, военное применение,

системы наблюдения и мониторинга, охраны периметров, системы домашней и промышленной автоматизации, охрана окружающей среды, агропромышленный комплекс.

Рассмотрена структура и архитектура сенсорных сетей, а также применение беспроводных сенсорных сетей. К узлам, входящим в состав сенсорных сетей предъявляются достаточно жесткие и специфические требования. Прежде всего, это длительное функционирование от автономного источника питания, наличие беспроводного интерфейса широкие сетевые возможности, включая самоорганизацию, динамическую аутентификацию, гибкие механизмы маршрутизации и т.п. Сенсорная сеть, кроме всего прочего, может быть весьма и весьма масштабной, насчитывая сотни тысяч узлов, имея при этом сложную топологическую структуру. И при этом каждый подобный узел должен иметь очень низкую стоимость и обладать минимально возможными размерами.

Кроме того одной из основных проблем современных беспроводных сенсорных сетей является сжатие данных и контроль трафика, передаваемого. Существует достаточно много различных алгоритмов сжатия информации, среди которых наиболее распространены и широко известны алгоритм Хаффмана, алгоритм арифметического сжатия и алгоритм Лемпеля-Зива.

В статье проведен анализ существующих алгоритмов сжатия и показана их неэффективность, предложено использование методов сжатия для передачи, такие как линейные, матричные, каскадные и комбинированные.

Разработанные методы, в отличие от существующих, основанные на использовании возможности сжатия небольших объемов информации и ее передачи. К линейным методам относятся сжатия данных с использованием вместо повторений дополнительных символов, а также змiania основы кода. К матричным - сжатие информации с типичными матрицами. Каскадные и комбинированные методы сжатия являются комбинациями линейных и матричных методов в различных комбинациях.

Предложенные методы могут быть реализованы как на этапе разработки, так и на этапе эксплуатации сенсорных сетей.

Ключевые слова. Беспроводные сенсорные сети, сенсоры, алгоритмы сжатия, методы сжатия при передаче, коэффициент сжатия.

**УДК: 681.513.6**

**Синтез унифицированных мультипликативных регуляторов для прецизионных систем управления технологическими процессами / Канюк Г. И., Мезеря А. Ю., Князева В. Н. // Межведомственный научно-технический сборник «Адаптивные системы автоматического управления». -2018.- № 1 (32).-С. 58-67**

В статье системно изложены основные принципы структурного синтеза унифицированных мультипликативных регуляторов для прецизионных электронно-гидравлических следящих систем, используемых в современных автоматизированных системах управления технологическими процессами. Сформулированы и представлены в типовой универсальной форме, удобной для динамического анализа и синтеза алгоритмов управления, линеаризованные математические модели выделенных автономных конту-

ров управления; показано, что динамические процессы в этих контурах могут быть достаточно точно описаны математическими моделями не выше третьего порядка. Синтезированы унифицированные эффективные алгоритмы управления, обеспечивающие для каждого контура управления высокие показатели качества (точности и быстродействия). Синтезированы наблюдатели состояния (эталонные модели) контуров, дающие информацию о всех необходимых для управления параметрах состояния. Результаты работы использовались при создании быстродействующих прецизионных систем управления на энергетических и машиностроительных предприятиях.

*Ключевые слова:* системы автоматического управления, прецизионные регуляторы, математические модели, мультипликативное управление, структурно-параметрический синтез.

Библ. 7, ил. 3

### **УДК 621.313.322-52**

**Параметрический синтез астатического регулятора сар частоты вращения гидротурбины на основе решения обратной задачи динамики / Канюк Г. И., Мезеря А. Ю., Мельников В. Е. // Межведомственный научно-технический сборник «Адаптивные системы автоматического управления». -2018.- № 1 (32).-С. 68-77**

Для синтеза прецизионного регулятора гидроагрегата использован метод обратных задач динамики, который в плане быстродействующих и прецизионных регуляторов является наиболее перспективным, поскольку позволяет обеспечить передаточную функцию общего контура управления, стремящуюся к единице. Это означает возможность достижения максимальных значений статической и динамической точности.

В статье описана структура и принцип действия астатического регулятора САР Ч и М гидротурбины, на основе критерия минимума интеграла от произведения абсолютного значения ошибки на время выполнены параметрический синтез и оптимизация прецизионного регулятора САРЧ и М гидротурбины.

В статье предложен регулятор, который в отличии от существующих не содержит контуров дифференцирования, хотя реализует дифференциальные законы управления. Это преимущество, поскольку регулирование в реальных системах сопряжено с определенными проблемами и ошибками. Он включает только пропорциональные интегральные контуры, охваченные соответствующими обратными связями. Схема регулятора является универсальной, количество контуров зависит от динамического порядка системы, определяемой его математической моделью.

*Ключевые слова:* гидроагрегат, астатический регулятор, математическая модель, параметрический синтез.

### **УДК 004.042**

**Повышение эффективности кэширования SQL запросов/ Клейменов Р. С., Лихоузова Т. А. // Межведомственный научно-технический сборник «Адаптивные системы автоматического управления». -2018.- № 1 (32).-С. 78-86**

Важнейшей характеристикой большинства компьютеризованных систем является скорость доступа к нужной информации. Кэширование мало изменяющихся данных

может существенно улучшить эту характеристику, но стандартная реализация SQL интерфейса языка программирования Java не имеет такой функциональности, в связи с чем возникает задача разработать и реализовать в рамках данного языка программирования кеш, который позволил бы уменьшить нагрузку на базу данных и увеличить скорость доступа к нужной информации.

В статье проведен сравнительный анализ стандартных структур данных языка программирования Java, рассмотрены их преимущества и недостатки при использовании для кеширования. Приведены результаты серии экспериментов по тестированию структур данных как хранилища ключей. Предложены и протестированы структуры, которых нет в стандартной библиотеке. Полученные данные показали, что использование таких структур более эффективно при кешировании SQL запросов.

*Ключевые слова:* кеширование, веб-приложение, инвалидация, Java.

Библ. 8, ил. 7, табл. 5

#### **УДК 004.75**

**Способ динамической балансировки нагрузки в программно-конфигурируемых сетях** / Кулаков Ю. А., Лопушен Е. Ю. // Межведомственный научно-технический сборник «Адаптивные системы автоматического управления». -2018.- № 1 (32).-С. 87-91

В данной статье предложен способ балансировки нагрузки в программно-конфигурируемых сетях. Способ позволяет рационально использовать имеющиеся ресурсы, путём включения в сеть только тех узлов кластера, которые необходимы в данный момент. Средствами SDN выполняется мониторинг загруженности кластера, принимается решение о горизонтальном масштабировании приложения. В качестве резервного ресурса используются узлы в облаке, на которые переносится нагрузка в случае недостатка ресурсов в локальном кластере. Такая функциональность реализована в контроллере программно-конфигурируемой сети, используя стандартные средства автоматической развёртки узлов в облаке. Произведено моделирование применения способа в эмуляторе Mininet, проанализированы результаты, обозначены направления дальнейшего развития предложенного способа.

*Ключевые слова:* программно-конфигурируемые сети, SDN-контроллер, балансировка нагрузки, гибридное облако, mininet.

Библ. 5, ил. 3, табл. 1

#### **УДК 621.3.011.74.005**

**Математическая модель двенадцатипульсного преобразователя с шестизонным регулированием напряжения** / Михайленко В. В., Майкович И. В., Наухацкая Т. А // Межведомственный научно-технический сборник «Адаптивные системы автоматического управления». -2018.- № 1 (32).-С. 92-96

В статье проведено анализ электромагнитных процессов в электрических цепях с полупроводниковыми коммутаторами. Создана математическую модель двенадцатипульсного полупроводникового преобразователя с шестизонным регулированием вы-



ходного напряжения для анализа электромагнитных процессов в полупроводниковых преобразователях с широтно-импульсным регулированием. Показано графики, что электромагнитные процессы в электрических цепях. Математическая модель полупроводникового преобразователя также используется для исследования переходных процессов в полупроводниковых преобразователях с активно-индуктивной нагрузкой. Развита метод многопараметрических функций, какие входят в алгоритмические уравнения анализа установившихся и переходных процессов в разветвленных электрических цепях с полупроводниковыми коммутаторами и реактивными элементами, в направлении учета особенностей использования фазных и линейных напряжений сети электропитания. Разработана новая математическая модель установившихся и переходных процессов в электрических цепях полупроводниковых преобразователей модуляционного типа с многоканальным зонным использованием фазных напряжений трехфазной сети питания без учета потерь электроэнергии в коммутаторах для быстрой оценки влияния параметров нагрузки на характеристики регулированных синусоидальных и постоянных напряжений. Результаты этой работы можно использовать для развития метода многопараметрических модулирующих функций для упрощения анализа переходных процессов в электрических цепях без учета потерь в ключевых элементах.

*Ключевые слова:* полупроводниковый преобразователь, шестизонное регулирование напряжения, электромагнитные процессы.

Библ. 4, ил. 3

#### **УДК 004.056.5**

**Метод визуального мультитрекинга в реальном времени на основе корреляционных фильтров** / Пантелеев А. С., Олейник В. В. // Межведомственный научно-технический сборник «Адаптивные системы автоматического управления». -2018.- № 1 (32).-С. 97-106

Объектом исследования является визуальное отслеживание множества объектов в реальном времени. В статье сделан обзор типового метода отслеживания на основе детектирования, с применением динамической модели для предсказания перемещения цели на кадре и фильтра Калмана для корректировки параметров модели. Этому методу присущи определённые ограничения. Такой подход сильно зависит от скорости работы детектора и плохо справляется с отслеживанием цели, которая движется нелинейно.

Целью работы является повышение надёжности трекинга при отслеживании маневренных целей. Для достижения цели предлагается использовать метод трекинга на основе детектирования, в котором для построения траектории объекта между ключевыми кадрами используются адаптивные корреляционные фильтры вместо динамической модели. Предложенный подход позволяет повысить точность и надёжность трекинга объектов, движущихся нелинейно.

*Ключевые слова:* Компьютерное зрение, визуальный трекинг, корреляционный фильтр, мультитрекинг, трекинг на основе детектирования.

Библ. 18, ил. 5

### УДК 531

**Моделирование характеристик защитных диэлектрических покрытий** / Пархо-  
мей И. Р., Паюн В. А., Сопильняк Д. О. // Межведомственный научно-технический сборник  
«Адаптивные системы автоматического управления». -2018.- № 1 (32).-С. 107-113

Теоретически обоснована возможность эффективной радиолокации летательных аппаратов с искусственно сниженной ЕПР и новое решение научной проблемы, суть которой заключается в разработке нового принципа получения и использования радиолокационной информации о воздушной цели с искусственно пониженной эффективной площадью отражения на основе резонансной частотно - фазовой взаимосвязи СВЧ электромагнитного поля с кристаллической структурой радиопоглощающего покрытия.

Эффективность РЛС, используемых в настоящее время, не позволяет достичь нужных потенциальных возможностей для выявления и сопровождения радиолокационных объектов с искусственно пониженной ЕПР.

Остро встал вопрос разработки и внедрения новых высокоэффективных методов радиолокации воздушных объектов с искусственно пониженной ЕПР, а также определение путей модернизации РЛС.

Методы, которые существовали до сих пор не позволяли осуществлять эффективную локацию аппаратов, созданных по новейшим технологиям, что и обусловило формулировку научной проблемы.

Актуальность исследования обусловлена следующими причинами: динамичным развитием авиационной техники, широким внедрением ведущими странами - производителями летательных аппаратов технологии искусственного снижения ЕПР, ростом доли летательных аппаратов с искусственно пониженной ЕПР, поступающих в эксплуатацию в последнее время, снижением возможностей существующих РЛС по радиолокации таких летательных аппаратов, недостаточной реализацией потенциальных возможностей РЛС при обнаружении и сопровождении воздушных целей с искусственно пониженной ЕПР.

Ситуация, которая сложилась побудила объективное противоречие в практике применения РЛС по локации летательных аппаратов с искусственно пониженной ЕПР.

Возрастающее внимание со стороны руководства государства, ученых, конструкторов по вопросам создания новых радиолокационных средств и модернизации существующих РЛС, новые стратегические концепции, лежащие в основе государственных программ передовых государств мира, стремительное развитие техники, в первую очередь, авиационной, создают предпосылки повышения требований к уровня возможностей РЛС.

*Ключевые слова:* эффективная площадь отражения, резонансное возбуждение кристаллической структуры, радиопоглощающее покрытие.

Библ. 5

**УДК 621.398.96**

**Получение информации групповыми управляемыми объектами/ Пархомей И. Р., Паюн В. А., Ярыч А. Н.// Межведомственный научно-технический сборник «Адаптивные системы автоматического управления». -2018.- № 1 (32).-С. 114-119**

Актуальность исследования обусловлена следующими причинами: динамичное развитие авиационной техники, широкое внедрение ведущих стран - производителей авиационной техники искусственного сокращения, увеличение доли самолетов с искусственным интеллектом, которые снижают возможности существующих радиолокационных радаров, отсутствие реализации потенциала радаров во время обнаружения и сопровождения воздушных целей с искусственным интеллектом. Ситуация вызвала объективное противоречие в практике радаров относительно самолетов.

Растущее внимание со стороны государственных деятелей, ученых, конструкторов по созданию новых радиолокационных объектов и модернизации существующих РЛС, новых стратегических концепций, лежащих в основе государственных программ ведущих стран в мире, бурное развитие технологий, в первую очередь авиации, устанавливает требования к повышению уровня радиолокационных возможностей.

Существенные требования роста для РЛС, которые продолжает широко применяться на практике, необходимость повышения качества и количества эффективности радиолокационных систем до требуемого уровня без ориентации на РЛС обнаружения и сопровождения воздушных целей с искусственно заниженной эффективной площадью отражения, необходимость модернизации существующих и создание новых наилучших систем радиосвязи для нужд Украины, отсутствие научно-методического подхода для определения путей повышения эффективности нового самолета РЛС, необоснованные рекомендации по повышению эффективности РЛС для определения направления исследований ,

Статья посвящена развить методы радиолокации, которые искусственно изменены путем эффективной площади отражения; это позволяет повысить эффективность работы радиолокационных станций, которые основаны на физическом принципе приема радиолокационной информации о воздушной цели на счет резонансного возбуждения внутренней структуры, охватывающей летательный аппарат, который поступает в облучение радиочастотной электромагнитной зоны.

Разработанные методы, в отличии от существующих, основаны на использовании возможности "радио возбуждения" материала для того, чтобы учесть резонансное частотно-фазовое взаимодействие кристаллической структуры с большим радиочастотным сигналом облучения для увеличения воздушного показателя КПД радиолокации путем эффективной площади диффузии.

Предлагаемые методы могут быть реализованы на этапе поиска и "аккомпаниментов" радиолокационных станций современных воздушных показателей. Эти рекомендации предназначены для улучшения основных систем радиолокационных станций.

Ключевые слова: эффективная площадь отражения, резонансное возбуждение кристаллической структуры, радиопокрытие.

Библ. 4, ил. 2

### **УДК 004.383**

**Модернизация системы тактовой синхронизации с целью повышения быстродействия и динамической точности** / Пархомей И. Р., Яровий А. В., Дыбань А. В. // Межведомственный научно-технический сборник «Адаптивные системы автоматического управления». -2018.- № 1 (32).-С. 120-136

В данной статье выполнен анализ стойкости существующей системы тактовой синхронизации методом логарифмических частотных характеристик, и анализ режимов и методов синхронизации сетей.

Как показывает анализ ее математической модели, в системе имеются динамические ошибки и время переходного процесса. Это является значительным недостатком, уменьшающим производительность системы передачи данных и таким, который может привести к приему неверной информации или к потере связи.

После сравнительной оценки способов повышения быстродействия и динамической точности. В работе выбран метод повышения быстродействия и динамической точности, введения составляющей в систему разомкнутой связи по желаемому действию - фазе тактовых импульсов. Эта связь не влияет на стойкость замкнутой части системы и из-за этого ее параметры могут быть синтезированы согласно условий улучшения переходного процесса и уменьшения динамических ошибок, то есть при введении связи теряются противоречия между условиями повышения динамической точности и стойкости. Синтез связи по заданному действию выполнен в соответствии с условиями компенсации медленно затухающей компоненты переходной составной ошибки, благодаря чему удалось одновременно повысить быстродействие и динамическую точность системы тактовой синхронизации.

*Ключевые слова:* система тактовой синхронизации, принцип управления по отклонению, передаточная функция, метод логарифмических частотных характеристик, динамическая точность

Библ. 5, ил. 8

### **УДК378.147:159.95:519.816**

**Изучение мотивации слушателей онлайн-курсов** / Лисовиченко О. И., Пархоменко А. В., Сегол Р. И.// Межведомственный научно-технический сборник «Адаптивные системы автоматического управления». -2018.- № 1(32).-С. 137-145

Объектом исследования является мотивация слушателей онлайн-курсов. В нынешнем учебном процессе она достаточно невысокая, о чем свидетельствуют многочисленные исследования в этой области. Считается нормальным уровень успешного завершения курса 7-8% его слушателей. Слушатели, которые были достаточно замотивированы, чтобы подписаться на онлайн-курс, потеряли мотивацию в процессе обучения.

Целью работы является изучение мотивационных факторов для слушателя онлайн-курсов и способов повышения мотивации конкретного студента. Для достижения цели был проведен анализ мотивационных факторов, которые влияют на слушателей

Міжвідомчий науково-технічний збірник «Адаптивні системи автоматичного управління» № 1' (32) 2018  
онлайн-курсов, проанализированы имеющиеся методики тестирования личности, выделены индивидуально-психологические мотивационные факторы и мотивационные элементы учебного процесса. Предложена концепция определения способов повышения мотивации с помощью метода анализа иерархий, с помощью которой можно привести к увеличению коэффициента успешности онлайн-обучения.

*Ключевые слова:* индивидуально-психологические критерии, коэффициент успешного завершения, метод анализа иерархий, методика тестирования личности, мотивация, мотивационные факторы, онлайн-обучение, проективные методики.

Библ. 30, ил. 1.

### **УДК 621.865.8**

**Способ мультипликации технологического усилия промышленного робота /**  
Полищук М. Н. // Межведомственный научно-технический сборник «Адаптивные системы автоматического управления». -2018.- № 1 (32).-С. 146-152

Рассматривается принципиально новый способ мультипликации рабочих усилий технологических модулей промышленных роботов. В отличие от классического способа мультипликации усилия с применением пневмогидравлических приводов, предложено техническое решение на основе движущейся гидравлической камеры, что позволяет существенно повысить производительность выполнения силовых технологических операций.

Предлагаемый привод эффективен, когда требуется, используя быстродействие привода холостого хода, многократно (в десятки раз) увеличить силу рабочего инструмента, в том числе и установленного на руке робота. Например, при выполнении таких технологических операций как запрессовка, развальцовка, прошивка, точечная сварка и других силовых операций.

*Ключевые слова:* пневматические и гидравлические усилители, технологические модули промышленных роботов, прессовое оборудование

Библ. 4, ил. 3

### **УДК 004.056.5**

**Преимущества открытого стандарта json web token для упрощения доступа в клиент-серверных приложениях/** Стахов Р. О., Сирота О. П. // Межведомственный научно-технический сборник «Адаптивные системы автоматического управления». - 2018.- № 1 (32).-С. 153-159

Объектом исследования является открытый стандарт создания токенов доступа json web token для упрощения доступа в клиент-серверных приложениях. В статье приведены механизмы и способы работы и взаимодействия технологии JWT и веб-приложений. Ей присущи определенные ограничения. Так отсутствие хорошо защищенных каналов передачи токенов ставит под угрозу весь механизм безопасной аутентификации и авторизации, поэтому это ложится на плечи заказчиков услуги передачи контента.

Целью работы является ознакомление с механизмами работы данной технологии и ее использования. Для достижения защищенности предлагается совсем другой способ реализации процессов авторизации и аутентификации, существенно способствует не только оптимизации и ускорению веб-приложений без внесения значительных конструктивных изменений, но и повышает защищенность всех пользователей без исключения. Успешность всей системы JWT базируется на разработанном эффективном алгоритме разделения авторизационных данных на несколько частей, каждая из которых имеет свой способ шифрования.

*Ключевые слова:* JWT, JSON, токен, авторизация, доступ, аутентификация, стандарт.

Библ. 9, ил. 1, табл 1

### **УДК 519.6**

**Оптимальное размещение промышленных предприятий с минимальными экологическими последствиями для данного промышленного региона/** Стенин А. А., Мелкумян Е Ю., Стенин С. А., Мизёв А. А. // Межведомственный научно-технический сборник «Адаптивные системы автоматического управления». - 2018.- № 1 (32).-С. 160-165

В данной статье решается задача оптимального размещения новых промышленных предприятий в выбранном регионе с таким условием, что бы суммарное годовое загрязнение вредных промышленных выбросов не превышало допустимых санитарных норм и общая экологическая нагрузка на весь регион за счет загрязнения от данного предприятия была минимальной, но в пределах допустимых санитарных норм. Рассмотрены общая математическая модель и типичные ситуации. Следует отметить, что глобальная оценка загрязнения в данной задаче оптимизации решается для всего региона, но она может не удовлетворять специфическим условиям для всех экологически значимых зон. Указаны методы решения задачи оптимизации и дана интерпретация частных и общих результатов.

*Ключевые слова:* уравнение Навье-Стокса, экологически значимые зоны, интегральные критерии загрязнения, методы прямого моделирования, линейное программирование.

Библ. 6.

### **УДК 004.932.2**

**Алгоритм распознавания лиц людей на базе свёрточной нейронной сети /** Тимошин Ю. А., Орленко С. П. // Межведомственный научно-технический сборник «Адаптивные системы автоматического управления». -2018.- № 1 (32).-С. 166-173

В статье рассмотрены методы детектирования и распознавания лиц, проанализирована возможность их комбинации с целью построения компьютерной системы распознавания. Полученный результат позволил выделить достоинства и недочёты при проектировании системы распознавания в рассмотренной статье области применения. Разработан алгоритм и реализована программа идентификации лица человека.

*Ключевые слова:* система идентификации, распознавание лица, ключевые точки и признаки, нейронная сеть, выделение области, ошибочные срабатывания.

Библ. 6, ил. 5.

#### **УДК 004.89**

**Модель оптимального выбора топологии искусственных нейронных сетей с использованием генетического алгоритма / Титков С. А., Лисовиченко О. И. // Межведомственный научно-технический сборник «Адаптивные системы автоматического управления». -2018.- № 1(32).-С. 174-181**

В данной статье рассмотрена проблема выбора оптимальной топологии нейронной сети и пути ее решения. В виду разнообразия классов задач встает проблема выбора метода решения и его эффективность. Приведены результаты работы генетического алгоритма в процессе выбора топологии нейронной сети и на практике доказано преимущество данного подхода.

*Ключевые слова:* генетический алгоритм, искусственные нейронные сети, топология нейронной сети, нейроеволюционный алгоритм, ИНС.

Библ. 10, ил. 5, табл. 3

**UDC 004.89:65.011.56**

**The concept of building an information technology platform for designing decision support systems for the organizational management of the energy market** / Borukaev Z., Ostapchenko K., Lisovychenko O. // Interdepartmental scientific-technical journal «Adaptive systems of automatic control».- 2018.- № 1 (32).- P. 3-14

The article is devoted to the improvement and detailing of the approach to the development of the means of information and technological support of the unified software environment for the design of computer models for the tasks of the organizational management of the wholesale electricity market and the automation of decision-making processes in the systems of organizational management. The basis of such tools is the information technology platform that implements the typical functions of processing and presentation of data structures on the basis of which the user solves the functional tasks of the subject area of organizational management of the wholesale electricity market. This platform requires such an organizational structure of the software environment in which objects of the subject area and interconnections between them would be defined regardless of the implementation of the functional tasks of data processing in the procedures and interfaces of the system, and represent a single structure. As a result, a systemic basis for the formation of a single information environment for the construction of a computer control system will be created to monitor the performance of the subjects of the wholesale electricity market, which will reduce the risk, complexity and costs when moving to new management tasks.

*Keywords:* organizational management, wholesale electricity market, decision support system, information technology platform

Ref. 6, pic. 2

**UDC 004.514**

**Conceptual model of adaptive web-interface using intelligent technologies** / Bugay A., Oliynik V. // Interdepartmental scientific-technical journal «Adaptive systems of automatic control». - 2018.- № 1 (32).- P. 15-22

The object of the study is the convenience of web applications usage. The article considers the traditional approach to constructing user interfaces and outlines its drawbacks. So, such interfaces do not take into account the features of individual users and do not meet modern requirements for ease of use.

The aim of the work is to increase the efficiency of human-computer interaction in modern web applications. To achieve the goal, model is proposed that allows adapting the interface to the needs of the users. It is suggested to use support vector machine and the collaborative filtering algorithm to determine the configuration of the appearance of the interface and implement the system using the micro-server architecture. The proposed approach allows usability improvement and saves user time to solve problems in the application.

*Keywords:* adaptive interface, web application, software architecture, human-computer interaction.

Ref. 5, pic. 2



**UDC 004.05.7:681.3.07**

**Synergy and tempo dynamics of improvement of model of cybernetic threats of nuclear objects** / Burlakov V., Kononovich V., Kononovich I. // Interdepartmental scientific-technical journal «Adaptive systems of automatic control».- 2018.- № 1 (32).- P. 23-36

*Annotation:* Progress of the control systems by complex critically important objects is accompanied by the rising of cybernetic threats of nuclear safety. Creation of synergy model of project threats of informative, cybernetic and nuclear safety is the purpose of work critically important objects of nuclear energy of Ukraine. For achievement this purpose next tasks are solving:

1. Formulation of principles of construction of project model of cybernetic threats to the automated technological and administrative control systems, important for providing of nuclear safety.

2. Drafting of nomenclature of project cybernetic threats taking into account a main purpose activity of enterprise, objects features and vulnerability of nuclear domain.

3. Development of formal discrete mathematical model of periodic improvement of nomenclature of project cybernetic threats. The decision of these tasks will allow improve quality of work on providing nuclear safety in the conditions of action of cybernetic threats.

*Keywords:* information security, cyber security, nuclear safety, objects of critical infrastructure, design basis threat (DBT), the dynamic system model, cyclic management.

Ref. 22

**UDC 658.012**

**Defining the parameters and structure of the scenario of performing business-process** / Grysha O. // Interdepartmental scientific-technical journal «Adaptive systems of automatic control».- 2018.- № 1 (32).- P. 37-41

Is offered a task of finding parameters and structure scenarios implementation for the activity processes by the criterion of maximizing the target performance indicators is considered. The process of construction and identification information model viewed as a two-way process.

As a result of the dynamics of the business environment, in order to achieve these indicators, the personnel have to replace the patterned points of the activity process (the model) with decision points. This leads to an increase in the complexity of the business as an object of management and, accordingly, undetermined of the function of displaying the result of the performance of a particular operation of activity and choosing the path of continuation of the process to the result indicators.

In the article, we determined the types of situations in which the decision-making process is carried out by personnel in the implementation scenario.

In the presented situation, decision-making is also influenced by determining the degree of novelty of this decision-making situation in comparison with past instances of the process implementation. To determine the degree of novelty, a list of parameters is proposed.

On the definite, the problem is to find an optimal mixed strategy selecting parameters and directions for the way of scenarios for realizing the processes of activity by the criterion of maximizing the target performance indicators.

To solve this problem, model of way to achieve the results of the business-process and is proposed a heuristic algorithm that gives an approximate rather effective solution is offered.

*Keywords:* modeling of complex systems, performance indicators, Process mining.

Titl. 2.

### **UDC 681.31**

**Processing information in sensory networks/** Zhurakovsky B., Parhomei I., Druzhinin V. // Interdepartmental scientific-technical journal «Adaptive systems of automatic control».- 2018.- № 1 (32).- P. 42-57

The urgency of the study is due to the following reasons: the dynamic development of wireless sensor networks, a significant increase in the amount of information transmitted by these networks, an increase in the capabilities of the sensors themselves.

In many areas of human activity, it is often the task of collecting data from a large number of sources, processing them, and providing a response corresponding to recorded events. To carry out such activities is automated, it is necessary to ensure the exchange of information between all these devices, that is, to create a unified network of sensors and actuators. But the leading network can be acceptable only in a narrow range of tasks, since it is too massive, expensive, requires complicated installation, setup and maintenance, it is not suitable for miniature or mobile objects. Therefore, they often stop to create a wireless network, with the help of appropriate sensors ensures the collection, transmission and processing of information. Due to the fact that the information is transmitted over the radio network, the network provides easy setup and maintenance, the ability to work with mobile and miniature objects.

However, conventional wireless networks in their configuration, protocols and algorithms differ slightly from sensor wireless networks, which have their own characteristics and requirements.

The article shows the main differences in sensory and wireless networks, problems and features of modern wireless sensor networks. The main areas where sensory systems are urgently needed today are: healthcare, military applications, surveillance and monitoring systems, perimeter protection, home and industrial automation systems, environmental protection, agro-industrial complex.

The structure and architecture of sensor networks, as well as the use of wireless sensor networks, are considered. The nodes that are part of the sensor networks are fairly rigid and specific requirements. First of all, this is a long-term operation of an autonomous power supply, the presence of a wireless interface wide network capabilities, including self-organization, dynamic authentication, flexible routing mechanisms, etc. The sensory network, among other things, can be quite and very large, counting hundreds of thousands of nodes, while having a complex topological structure. And with all this, each such node should have a very low cost and possess the minimum possible size.

In addition, one of the main problems of modern wireless sensor networks is the compression of data and control of transmitted traffic. There are quite a lot of different information compression algorithms, among which the most common and well-known are the Huffman algorithm, the arithmetic compression algorithm and the Lempel-Ziv algorithm.

The article analyzes the existing compression algorithms and shows their inefficiency, and proposes the use of compression methods for transmission, such as linear, matrix, cascaded and combined.

The developed methods, in contrast to the existing, are based on the use of the possibility of compressing small amounts of information and its transmission. Linear methods include compression of data using instead of repeating additional characters, as well as changing the basis of the code. By matrix - compression of information with typical matrices. Cascading and combined compression methods are combinations of linear and matrix methods in various combinations.

The proposed methods can be implemented both at the stage of development and at the stage of exploitation of sensor networks.

*Keywords.* Wireless sensor networks, sensors, compression algorithms, compression methods for transmission, compression ratio.

### **UDC 681.513.6**

**Synthesis of unified multiplicative regulators for precision control systems of technological processes** / Kanyuk G., Mezerya A., Kniazieva V. // Interdepartmental scientific-technical journal «Adaptive systems of automatic control».- 2018.- № 1 (32).- P. 58-67

In the article the basic principles of structural synthesis of unified multiplicative regulators for precision electron-hydraulic servo systems used in modern automated control systems for technological processes are systematically stated. Formulated and presented in a standard universal form, convenient for dynamic analysis and synthesis of control algorithms, linearized mathematical models of dedicated autonomous control loops; It is shown that the dynamic processes in these circuits can be described quite accurately by mathematical models not higher than the third order. Synthesized unified effective control algorithms that ensure high quality indicators (accuracy and speed) for each control loop. State observers (reference models) of the contours were synthesized, giving information on all the state parameters necessary for control. The results of the work were used to create high-speed precision control systems in power engineering and machine building enterprises.

*Keywords:* systems of automatic control, прецизионные regulators, mathematical models, multiplicative management, структурно-параметрический synthesis

Ref. 7, pic. 3

### **UDC 621.313.322-52**

**Parametric synthesis of an astatic regulator of the automatic control system of the turbine speed based on the solution of the inverse problem of dynamics** / Genadiy Kanyuk, Andrey Meserya, Vyacheslav Melnikov // Interdepartmental scientific-technical journal «Adaptive systems of automatic control».- 2018.- № 1 (32).- P. 68-77

To synthesize a precision regulator of a hydraulic turbojet, the inverse dynamic problem is used, which is the most promising in terms of high-speed and precision regulators, since it makes it possible to ensure the transfer function of the general control loop tending to unity. This means the possibility of achieving maximum values of static and dynamic accuracy.

The article describes the structure and operation principle of the astatic regulator SARCh and M of the hydroturbine, based on the criterion of the minimum of the integral of the product of the absolute value of the error, parametric synthesis and optimization of the precision regulator SARCH and M of the hydroturbine were carried out for a while.

The article proposes a regulator, which, unlike existing ones, does not contain differentiation contours, although it implements differential control laws. This is an advantage, since regulation in real systems involves certain problems and errors. It includes only proportional integrated circuits covered by appropriate feedbacks. The regulator circuit is universal, the number of circuits depends on the dynamic order of the system, determined by its mathematical model

*Keywords:* hydrounit, astatic regulator, mathematical model, parametric synthesis.

#### **UDC 004.042**

**Inter-branch scientific and technological digest** / Kleimenov R., Likhouzova T. Problems of data cache when using Java // Interdepartmental scientific-technical journal «Adaptive systems of automatic control».- 2018.- № 1 (32).- P. 78-86

The most important characteristic of most computerized systems is the speed of access to the necessary information. The caching of little-changing data can significantly improve this characteristic, but the standard implementation of the SQL interface of the Java programming language does not have such functionality, so it is necessary to develop and implement within the given programming language a cache that would reduce the load on the database and increase the speed access to the necessary information.

The article compares the standard data structures of the Java programming language, discusses their advantages and disadvantages when used for caching. The results of a series of experiments on testing data structures as a keystore are presented. Suggested and tested are structures that are not in the standard library. The obtained data showed that the use of such structures is more efficient when caching SQL queries.

*Keywords:* cache, Java, structures.

Ref. 8, pic. 7, tabl. 5

#### **UDC 004.75**

**Way of dynamic load balancing in software-defined networks** / Kulakov J., Lopushen Y. // Interdepartmental scientific-technical journal «Adaptive systems of automatic control».- 2018.- № 1 (32).- P. 87-91

In this article, a way of balancing load in software defined networks has been suggested. This way provides ability to rationally use present resources by including to the network only the nodes, that are necessary now. Cluster load monitoring is performed and decision of horizontal scaling is made using SDN features. Nodes on the side of cloud provider are used as an additional resource when needed, the load is re-directed to such nodes in case of insufficient resources in the local cluster. This feature is implemented in SDN controller by using standard ways of automatic deployment to the cloud. Modeling has been performed using the Mininet emulator, the results have been analyzed and directions of further development of the suggested way have been defined.

*Keywords:* software-defined networks, SDN-controller, load balancing, hybrid cloud, mininet.

Ref. 5, pic. 3, tabl. 1

#### **UDK 621.3.011.74.005**

**Mathematical model of twelve pulse converter with six zoned regulations of the voltage** / Mykhailenko V., Maykovych I., Naukhatska T. // Interdepartmental scientific-technical journal «Adaptive systems of automatic control».- 2018.- № 1 (32).- P. 92-96

Analysis of the electromagnetic processes is organized in article in electric circuit with semiconductor commutator. Mathematical model twelve pulses of the semiconductor converter is created with six zones by regulation of the output voltage for analysis of the electromagnetic processes in semiconductor converter with width-pulse regulation. It is shown graphs that electromagnetic processes in electric circuit. The mathematical model of the semiconductor converter is also used for study of the connecting processes in semiconductor converter with actively-inductive load. Will develop the method multivariable function, what fall into algorithmic equations of the analysis formed and connecting processes in furcated electric circuit with semiconductor commutator and reactive element, toward account of the particularities of the use phase and linear voltages to network of the power supply. It is designed new mathematical model formed and connecting processes in electric circuit of the semiconductor converters inflexion type with many-server zoned use phase voltages to three-phase network of the power supply disregarding losses to electric powers in commutator for quick estimation of the influence parameter loads on features adjusted sine and constant voltages. The results of this work possible to use for development of the method multivariable modulating function for simplification of the analysis of the connecting processes in electric circuit without account of the losses in key element.

*Keywords:* semiconductor converter, six zoned regulations of the voltage, electromagnetic processes, output voltage and current.

Ref. 4, pic. 3

#### **UDC 004.056.5**

**Real-time visual multitracking method based on correlation filters** / Pantelieiev O., Oliinyk V. // Interdepartmental scientific-technical journal «Adaptive systems of automatic control».- 2018.- № 1 (32).- P. 97-106

The object of the study is visual tracking of multiple objects in realtime. The article provides an overview of the tracking method based on detection and using dynamic model to predict the movement of the target in the frame and the Kalman filter to correct the model parameters. This method has certain limitations: strongdependency on the speed of the detector and it does not work well with tracking targets that moves nonlinearly.

The purpose of the work is to increase the reliability of tracking maneuvering targets. To achieve the goal, it is suggested to use a tracking method based on detection, in which adaptive correlation filters are used instead of the dynamic model to construct the object trajectory between the keyframes. The proposed approach allows to increase the accuracy and reliability of tracking for objects moving nonlinearly.

*Keywords:* Computer vision, visual object tracking, correlation filter, multitasking, tracking by detection.

Ref. 18, pic. 5

### **UDC 531**

**Modeling of characteristics of protective, dielectric coatings** / Parhomey I., Payun V., Sopilnyak D. // Interdepartmental scientific-technical journal «Adaptive systems of automatic control».- 2018.- № 1 (32).- P. 107-113

The relevance of the study due to the following reasons: dynamic development of aviation technology, the widespread introduction of the leading countries - producers of aircraft technology artificial reduction, increase the proportion of aircraft with artificially low coming into operation recently reduced capabilities of existing radar radar on such aircraft , lack of implementation of the potential of radar during the detection and tracking of air targets with artificially low gvidanse.

Situation prompted the objective contradiction in the practice of radar on aircraft ranging from artificially low.

The growing attention from state leaders, scientists, designers on the establishment of new radiolokatsiynih facilities and modernization of existing radars, new strategic concepts that underlie public programs leading countries in the world, the rapid development of technology, primarily aircraft, set the stage pivyschennya requirements level radar capabilities.

Significant growth requirements for radar, which continues widely used in practice, the need to raise the quality and quantity efficiency of radar systems to the desired level without orientation on radar detection and tracking of air targets with artificially low effective area of reflection gvidanse, the need for modernization of existing and creating new high of radio systems to the needs of Ukraine, lack of scientific and methodical approach to determine ways to increase the efficiency of new aircraft radar, no validated recommendations for improving the effectiveness of radar to determine the direction of research.

The thesis is dedicated to development of the methods radiolokation air integer with artificially reduced by efficient area of the reflection, which using allows to raise efficiency of the operation to radar station, which are founded on physical principle of the reception to radar information on air purpose to account of resonance excitation of the internal structure covering the flying machine entering the irradiation over radio-frequency electromagnetic floor.

The designed methods, in change from existing, are based on use the possibility of excitation radio material to account resonance frequency-phase interaction of the crystalline structure with over radio-frequency signal of the irradiation for increasing of efficiency radiolokation air integer with artificially reduced by efficient area of the diffusing.

The offered methods can be marketed on stage of the finding and accompaniments radar station modern air integer.

For this purpose recommendations is designed for improvements of the main systems radar station.

*Keywords:* efficient area of the reflection, resonance excitation of the crystalline structure, radio covering.

Ref. 5

**UDC 621.398.96**

**Getting information by group managed objects** / Parhomei I., Paun V., Yarych A. // Interdepartmental scientific-technical journal «Adaptive systems of automatic control».- 2018.- № 1 (32).- P. 114-119

The relevance of the study due to the following reasons: dynamic development of aviation technology, the widespread introduction of the leading countries - producers of aircraft technology artificial reduction, increase the proportion of aircraft with artificial intelligence which reduces capabilities of existing radar, lack of implementation of the potential of radar during the detection and tracking of air targets with artificial intelligence.

Situation prompted the objective contradiction in the practice of radar on aircraft.

The growing attention from state leaders, scientists, designers on the establishment of new radiolocating facilities and modernization of existing radars, new strategic concepts that underlie under public programs of world's leading countries, the rapid development of technologies, primarily aircraft, set the requirements for increasing of radar's level capabilities.

Significant growth requirements for radar, which continues to be widely used in practice, the need to raise the quality and quantity efficiency of radar systems to the desired level without orientation on radar detection and tracking of air targets with artificially low effective area of reflection, the need for modernization of existing and creating new high of radio systems to the needs of Ukraine, lack of scientific and methodical approach to determine ways to increase the efficiency of new aircraft radar, no validated recommendations for improving the effectiveness of radar to determine the direction of research.

The article is dedicated to develop radiolocation methods which artificially reduced by efficient area of the reflection; it allows to raise efficiency of the operation to radar stations, which are founded on physical principle of the radar information reception on air purpose to account of resonance excitation of the internal structure covering the flying machine entering the irradiation over radio-frequency electromagnetic area.

The designed methods, in change from existing, are based on use the possibility of "radio material excitation" to account resonance frequency-phase interaction of the crystalline structure with over radio-frequency signal of the irradiation for increasing of radiolocation efficiency air integer by efficient area of the diffusion.

The offered methods can be marketed on stage of the finding and accompaniments of radar stations of modern air integers. This purposerecommendations is designed for improvements of radar stations main systems.

*Keywords:* efficient area of the reflection, resonance excitation of the crystalline structure, radio covering.

Ref. 4, pic. 2

**UDC 004.383**

**Upgrading of clock synchronization system with the purpose of operation speed and dynamical precision increasing** / Parkhomei I., Yarovyi O., Dyban A. // Interdepartmental scientific-technical journal «Adaptive systems of automatic control».- 2018.- № 1 (32).- P. 120-136

This article attempts to execute an analysis of stability of the current clocking synchronization system using the method of logarithmic frequency characteristic, and analysis of the modes and methods of network synchronization.

An analysis of mathematical model of the system has shown that there are dynamic errors and transient time in the system. It is a considerable disadvantageous feature, decreasing the productivity of data transmission system (DATS) and can result in the receiving of incorrect information or loss of connection.

Results after carrying out of comparative evaluation of the methods of increase of high-speed response and dynamic accuracy. It is used the method of increase of high-speed response and dynamic accuracy, introduction of constituent part to the system of broken circuit in the order to insure the desired action - phase of synchronization pulses. This connection does not influence on stability of the closed part of the system and its parameters can be synthesized according to the conditions of improvement of transient process and decreasing of dynamic errors, in other words inconsistencies between the conditions of increase of dynamic accuracy and stability are lost at re-establishment of connection. The synthesis of connection on the set action is executed in accordance with the conditions of compensation of slow fading component of transitional component error, thanks to which it was succeeded simultaneously to increase a high-speed response and dynamic accuracy of the clocking synchronization system.

*Keywords:* clocking synchronization system, concept of deviation control, transfer function, method of logarithmic frequency characteristic, dynamic accuracy

Ref. 5, pic. 8

#### **UDC 378.147:159.95:519.816**

**Theonline coursesstudents' motivation analysis** / Lisovychenko O., Parkhomenko A., Segol R. // Interdepartmental scientific-technical journal «Adaptive systems of automatic control».- 2018.- № 1 (32).- P. 137-145

The object is the online courses students' motivation. Nowadays the students' motivation is quite low, as evidenced by numerous studies in this area. The completion rate of 7-8% is considered normal. Students who had had enough motivation to enroll to online course have lost it during the learning process.

The aim is to study the motivational factors for the online courses students and ways to increase a particular student's motivation. To achieve the aim, the motivational factors that affect the online courses students were analyzed, the available methods of personality testing were studied, the individual psychological motivational factors and motivational elements of the learning process were determined. The concept for determining ways to increase motivation using the hierarchy analysis method is proposed, which is designed to increase the online courses completion rate.

*Keywords:* e-learning, individual psychological criteria, hierarchy analysis method, motivation, motivational factors, online-course completion rate, personality testing, technique projective methods.

Ref. 30, pic. 1.



### **UDC 621.865.8**

**Method of increase of technological effort of industrial robot** / Polyshchuk M. // Interdepartmental scientific-technical journal «Adaptive systems of automatic control».- 2018.- № 1 (32).- P. 146-152

The fundamentally new method of making of animated cartoon of working efforts of the technological modules of industrial robots is examined. Technical solution is offered on the basis of locomotive hydraulic chamber. It allows promoting the productivity of implementation of power technological operations.

The offered drive is effective at the frequent increase of force of working instrument. For example, at implementation of such technological operations as pressing in, sewing, point welding and other power operations.

*Keywords:* pneumatic and hydraulic strengtheners, technological modules of industrial robots, press

Ref. 4, pic. 3

### **UDC 004.056.5**

**Advantages of the open standard token access token for easier client / server applications** / Stakhov R., Syrota O. // Interdepartmental scientific-technical journal «Adaptive systems of automatic control».- 2018.- № 1 (32).- P. 153-159

The object of the study is the open standard of creating access tokens json web token for easier access in client-server applications. The article describes the mechanisms and methods of work and interaction between JWT technology and web applications. It has certain limitations. Thus, the lack of well-protected token transfer channels jeopardizes the entire mechanism of secure authentication and authorization, which is why it lies on the shoulders of the content service provider.

The purpose of the work is to get acquainted with the mechanisms of work of this technology and its use. In order to achieve security, a completely different way of implementing authentication and authentication processes is provided, which significantly improves the optimization and acceleration of web applications without significant design changes, but also increases the security of all users without exception. The success of the entire JWT system is based on an effective algorithm for separating authorization data into several parts, each of which has its own encryption method.

*Keywords:* JWT, JSON, token, authorization, access, authentication, standard.

Ref. 9, pic. 1, tabl.1

### **UDK 519.6**

**Industrial enterprises optimal placement with minimal environmental consequences for a given industrial region/** Stenin A., Melkumian K., Stenin S., Mizov O. // Interdepartmental scientific-technical journal «Adaptive systems of automatic control».- 2018.- № 1 (32).- P. 160-165

This article solves the problem of the optimal allocation of new industrial enterprises in the selected region with the condition that the total annual pollution of harmful industrial

emissions does not exceed the permissible sanitary standards and the overall environmental load for the whole region due to pollution from this enterprise was minimal but within the limits sanitary norms. A general mathematical model and typical situations are considered. It should be noted that the global assessment of pollution in this optimization problem is being solved for the whole region, but it may not meet the specific conditions for all ecologically significant zones. Methods for solving the optimization problem are specified and interpretation of the partial and general results is given.

*Keywords:* Navier-Stokes equation, environmentally significant zones, integral pollution criteria, direct-simulation methods, linear programming

Bibl. 6.

#### **UDC 004.932.2**

**Face recognition algorithm based on the convolutional neural network** / Timoshyn Y., Orlenko S. // Interdepartmental scientific-technical journal «Adaptive systems of automatic control». - 2018.- № 1 (32).- P. 166-173

The article deals with methods of detecting and recognizing faces, analyzing the possibility of their combination in order to construct a recognition system. The obtained result allowed to highlight the advantages and disadvantages of designing the recognition system in the field of application which was discussed in the article. An algorithm is developed and the programs of identifying a person by her face were implemented and then checked for accuracy.

*Keywords:* identification system, face recognition, key points and signs, neural network, area selection, false positives.

Ref. 6, pic.5.

#### **UDC 004.89**

**Model of optimal choice of artificial neural networks topology using a genetic algorithm** / Titkov S., Lisovychenko O. // Interdepartmental scientific-technical journal «Adaptive systems of automatic control». - 2018.- № 1 (32).- P. 174-181

In this paper the problem of choosing the optimal topology of the neural network and the ways of its solution are considered. Due to the diversity of task classes, there is the problem of choosing a solution method and its efficiency. The results of the work of the genetic algorithm in the process of selecting the topology of the neural network are presented and in practice the advantage of this approach is proved.

*Keywords:* genetic algorithm, artificial neural mesh, neural network topology, neuro-evolutionary algorithm, CNS.

Ref. 10, pic. 5., tabl. 3

## ПРО АВТОРІВ

**Борукаєв Зелім Харитонович** – к.т.н., ст.н.с., провідний науковий співробітник Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г. Є. Пухова НАН України.

Наукові інтереси: математичне моделювання фізичних полів і процесів; моделювання інформаційних процесів в системах організаційного управління.

**Бугай Андрій Андрійович** – бакалавр, студент кафедри технічної кібернетики Національного технічного університету України «Київський Політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»..

Наукові інтереси: машинне навчання; людино-машинна взаємодія.

**Бурлаков Володимир Михайлович**, к.т.н., доцент, ст.н.с.

Наукові інтереси: моделювання систем, виявлення, розпізнавання та ідентифікація сигналів та об'єктів в умовах невизначеності, створення інформаційних та інформаційно-аналітичних систем, інформаційна безпека.

**Гриша Олена Василівна** – к.т.н., доцент кафедри автоматизованих систем обробки інформації та управління Національного технічного університету України «Київський Політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського».

Наукові інтереси: управління проектами, системний аналіз, представлення знань, підтримка прийняття рішень.

**Дибань Андрій Васильович** - студент кафедри ТК ФІОТ Національного технічного університету України «Київський Політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського».

**Дружинін Володимир Анатолійович** –професор кафедри радіоприймання та оброблення сигналів Національного технічного університету України «Київський Політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського».

**Жураковський Богдан Юрійович** - докт. техн. наук, професор кафедри ТК Національного технічного університету України «Київський Політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського».

**Канюк Геннадій Іванович**, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Теплоенергетики та енергозберігаючих технологій», Українська інженерно-педагогічна академія

Наукові інтереси: моделювання складних динамічних систем.

**Клейменов Роман Сергійович** – студент кафедри технічної кібернетики Національного технічного університету України «Київський Політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського».

Наукові інтереси: управління і підтримка прийняття рішень, обробка даних в системах реального часу.

**Козловский Валерий Валерьевич.** Заведуючий кафедрой средств защиты информации Национального авиационного университета, дтн, професор.

Наукові інтереси: теорія інформації, захист інформації.

**Кононович Володимир Григорович**, к.т.н., доцент.

Наукові інтереси: теорія інформації, неокібернетика та кібербезпека.

**Кононович Ірина Володимирівна.**

Наукові інтереси: теорія інформаційного виробництва, інформаційна та кібербезпека безпека.

**Кулаков Юрій Олексійович** – д.т.н., професор кафедри обчислювальної техніки Національного технічного університету України «Київський Політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського».

Наукові інтереси: проектування комп'ютерних мереж і організація обчислювальних процесів в них; підвищення ефективності функціонування проблемно-орієнтованих систем розподіленої обробки інформації; розробка і впровадження мережевих технологій, розробка способів і засобів організації функціонування територіально розподілених кластерних і GRID-систем.

**Лісовиченко Олег Іванович** – к.т.н., доцент кафедри технічної кібернетики Національного технічного університету України «Київський Політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського».

Наукові інтереси: моделювання складних систем; моделювання і візуалізація процесів складних дискретно-подійних систем.

**Ліхоузова Тетяна Анатоліївна** – к.т.н., доцент кафедри технічної кібернетики Національного технічного університету України «Київський Політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського».

**Лопушен Євгеній Юрійович** – аспірант кафедри обчислювальної техніки Національного технічного університету України «Київський Політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського».

Наукові інтереси: проектування програмно-конфігурованих мереж; управління трафіком в комп'ютерних мережах; маршрутизація в комп'ютерних мережах; організація функціонування комп'ютерних мереж.

**Майкович Ірина Віталіївна** – студентка групи ЕК-41, кафедра автоматизації енергосистем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

**Мезеря Андрій Юрійович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Теплоенергетики та енергозберігаючих технологій», Українська інженерно-педагогічна академія.

**Мелкумян Катерина Юрїївна** – к.т.н., доцент кафедри технічної кібернетики Національного технічного університету України «Київський Політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського».

Наукові інтереси: інформаційні технології, автоматизовані навчаючі системи, екстремальна робототехніка.

**Мельников В'ячеслав Євгенович** – асистент кафедри «Теплоенергетики та енергозберігаючих технологій», Українська інженерно-педагогічна академія.

**Михайленко Владислав Володимирович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри теоретичної електротехніки Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

**Мізьов Олександр** – магістр-науковий кафедри технічної кібернетики Націо-

Міжвідомчий науково-технічний збірник «Адаптивні системи автоматичного управління» № 1' (32) 2018  
нального технічного університету України «Київський Політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського».

Наукові інтереси: інформаційні технології, моделювання та оптимізація складних динамічних систем.

**Наухацька Таміла Анатоліївна** – студентка групи ЕК-41, кафедра автоматизації енергосистем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

**Олійник Володимир Валентинович** – к.т.н., старший викладач кафедри технічної кібернетики Національного технічного університету України «Київський Політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського».

**Орленко Сергій Петрович** – студент кафедри технічної кібернетики Національного технічного університету України «Київський Політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського».

Наукові інтереси: теорія цифрової обробки сигналів та зображень, розпізнавання образів, штучний інтелект; системи штучного інтелекту, нейротехнології та глибоке навчання.

**Остапченко Костянтин Борисович** – к.т.н., доцент кафедри технічної кібернетики Національного технічного університету України «Київський Політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського».

Наукові інтереси: моделювання та верифікація процесів в ГВС.

**Пархоменко Андрій Володимирович** – аспірант кафедри технічної кібернетики Національного технічного університету України «Київський Політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського».

Наукові інтереси: моделювання систем підтримки прийняття рішень.

**Пархомей Ігор Ростиславович** – д.т.н., доцент кафедри ТК Національного технічного університету України «Київський Політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського».

**Пантелєєв Олександр Сергійович** – бакалавр, студент кафедри технічної кібернетики Національного технічного університету України «Київський Політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського».

Наукові інтереси: комп'ютерний зір, методи візуального трекінгу.

**Паюн Віталій Анатолійович** – начальник військово-облікового відділу Національного технічного університету України «Київський Політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського».

**Поліщук М. М.** – к.т.н., доц. каф. технічної кібернетики Національного технічного університету України «Київський Політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки.

**Сегол Радміла Ігорівна** – доцент кафедри видавничої справи і редагування Національного технічного університету України «Київський Політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського».

Наукові інтереси: онлайн-навчання, змішане навчання, неформальна освіта, переклад, редагування, соціальні комунікації.

**Сирота Олена Петрівна** – к.т.н., старший викладач кафедри технічної кібернети-

ки Національного технічного університету України «Київський Політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського».

Наукові інтереси: адаптивні системи автоматичного контролю.

**Сопильняк Данил Олегович** – студент Національного технічного університету України «Київський Політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського».

Наукові інтереси: система управління, автоматизація процесів управління.

**Стахов Ростислав Олександрович** – бакалавр, студент кафедри технічної кібернетики Національного технічного університету України «Київський Політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського».

Наукові інтереси: аналіз систем захисту персональних даних.

**Стенін Олександр Африканович** – д.т.н., професор кафедри технічної кібернетики Національного технічного університету України «Київський Політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського».

Наукові інтереси: ситуаційне моделювання та оптимізація складних динамічних систем, автоматизовані навчаючі системи, ідентифікація та оптимізація систем.

**Стенін Сергій Олександрович** – заступник голови управління ДФС України, голова спеціалізованої лабораторії з питань експертизи та досліджень ДФС України

Наукові інтереси: методи та комп'ютерні технології хроматографічного дослідження хімічних речовин.

**Тітков Сергій Олегович** – магістрант кафедри технічної кібернетики Національного технічного університету України «Київський Політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського».

Наукові інтереси: теорія систем підтримки прийняття рішень, штучні нейронні сітки, штучний інтелект.

**Тимошин Юрій Афанасійович** – к.т.н., доцент кафедри технічної кібернетики НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського».

Наукові інтереси: інформаційно-управляючі системи, обробка інформації, складні об'єктів управління, телекомунікаційні системи та бази даних.

**Ярич Андрій Миколайович** – магістрант ФІОТ Національного технічного університету України «Київський Політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського».

**Яровий Олександр Володимирович** – заступник начальника відділу акредитації Національного технічного університету України «Київський Політехнічний інститут ім. Сікорського».

# **Адаптивні системи автоматичного управління**

**Випуск № 1(32) 2018**

**Міжвідомчий науково-технічний збірник**

Головний редактор О. А. Стенін  
Відповідальний за випуск О. І. Лісовиченко

Комп'ютерна верстка *А. М. Мушницького*

(Українською, російською та англійською мовами)

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
Свідоцтво про державну реєстрацію: серія ДК № 5354 від 25.05.2017 р.  
просп. Перемоги, 37,  
03056, Київ

Темплан 2018 р., поз. 3-3-004

Підп. до друку 27.07.2018. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Папір офс. Гарнітура School Book.  
Спосіб друку – ризографічний. Ум. друк. арк. 13,02. Обл.-вид. арк. 21,65.  
Наклад 30 пр. Зам. № 18-104

Видавництво «Політехніка», КПІ ім. Ігоря Сікорського  
вул. Політехнічна, 14, корп. 15  
03056, Київ  
тел. (044) 204-81-78