

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ  
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ  
ВАРШАВСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАУК ПРО ЖИТТЯ  
ІНСТИТУТ КІБЕРНЕТИКИ ІМЕНІ В. М. ГЛУШКОВА НАН УКРАЇНИ  
ІНСТИТУТ КОСМІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ НАН І ДКА УКРАЇНИ  
МІЖНАРОДНИЙ НАУКОВО-НАВЧАЛЬНИЙ ЦЕНТР ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ  
ТА СИСТЕМ НАН І МОН УКРАЇНИ  
УКРАЇНСЬКА АСОЦІАЦІЯ З АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ  
ПРЕДСТАВНИЦТВО ПОЛЬСЬКОЇ АКАДЕМІЇ НАУК В КИЄВІ

120 річниці НУБІП України присв'ячується

## **XXIV МІЖНАРОДНА КОНФЕРЕНЦІЯ З АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ**

**АВТОМАТИКА – 2017**

**13-15 вересня 2017 року**

**ЗБІРНИК ТЕЗ ДОПОВІДЕЙ**

м. Київ

ББК 40.7

УДК 303.732.4:519.816:631.17+62-52-631.3

Автоматика – 2017: XXIV Міжнародна конференція з автоматичного управління, м. Київ, Україна, 13–15 вересня 2017 року: тези конференції. Київ. 2017. 267 с.

Рекомендовано до друку рішенням науково-технічної ради НДІ техніки, енергетики та інформатизації АПК Національного університету біоресурсів і природокористування України, протокол №12 від 3 липня 2017 року.

В збірнику представлені тези доповідей вчених, науковців, науково-педагогічних працівників, наукових співробітників, аспірантів і докторантів учасників XXIV Міжнародної конференції з автоматичного управління «Автоматика – 2017», в яких розглядаються нинішній стан та шляхи розвитку економіки України за наступними секціями:

Математичні проблеми управління, оптимізації і теорії ігор.

Управління та ідентифікація в умовах невизначеності.

Керування технічними, технологічними, біотехнічними об'єктами.

Управління аерокосмічними, морськими та іншими рухомими об'єктами.

Інтелектуальне керування та обробка інформації.

Мехатроніка та робототехніка.

Інформаційні технології в автоматизації.

Підготовка кадрів в галузі автоматизації та інформаційних технологій.

#### **Довідки за телефонами:**

+380989138681 – Дудник Алла Олексіївна, відповідальний секретар

## МІЖНАРОДНИЙ ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ

### Співголови:

Кунцевич В. М., проф. (Україна, Київ)  
Ніколаєнко С. М., проф. (Україна, Київ)  
Стріха М. В., проф. (Україна, Київ)

### Члени комітета:

Губарєв В. Ф., проф. (Україна, Київ)  
Дубовий В. М., проф. (Україна, Вінниця)  
Кондратенко І. П., проф. (Україна, Київ)  
Кондратенко Ю. П., проф. (Україна, Миколаїв)  
Кулік Ф. С., проф. (Україна, Харків)  
Ладанюк А. П., проф. (Україна, Київ)  
Лебедєв Д. В., проф. (Україна, Київ)  
Лисенко В. П., проф. (Україна, Київ)  
Любчик Л. М., проф. (Україна, Харків)  
Максимов М. В., проф. (Україна, Одеса)  
Медіковський В. О., проф. (Україна, Львів)  
Михальов О. І., проф. (Україна, Дніпро)  
Наконечний О. Г., проф. (Україна, Київ)  
Невлюдов І. Ш., проф. (Україна, Харків)  
Осадчий С. І., проф. (Україна, Кропивницький)  
Панкратова Н. Д., проф. (Україна, Київ)  
Чикрій А. О., проф. (Україна, Київ)  
Andrzej Chochowski, prof. (Poland, Warsaw)  
Evangelos Hristoforou, prof. (Greece, Athens)  
Henryk Sobczuk, prof. (Poland, Warsaw)  
Igor Korobiichuk, prof. (Poland, Warsaw)  
Jacek Przybyl, prof. (Poland, Poznan)  
Nilson Ferreira, prof. (Brasil, Makapa)  
Olexii Martynenko, prof. (Canada, Halifax)  
Pawel Obstawski, prof. (Poland, Warsaw)  
Peter Svec, prof. (Slovakia, Bratislava)  
Roman Szewczyk, prof. (Poland, Warsaw)  
Vytautas Bučinskas, prof. (Lithuania, Vilnius)  
Yurii Yatskevitch, prof. (Canada, Vancouver)

## ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ

Голова: Ібатуллін І. І., проф. (Україна, Київ)

Заступник голови: Отченашко В. В., проф. (Україна, Київ)  
Войтюк В. Д., проф. (Україна, Київ)  
Козирський В. В., проф. (Україна, Київ)

## ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ ГИПЕРСЛУЧАЙНЫХ ЯВЛЕНИЙ

**Аннотация.** Приведены результаты исследования физического феномена статистической устойчивости на больших интервалах наблюдения. Представлена новая физико-математическая теория гиперслучайных явлений, описывающая физические события, величины, процессы и поля с учетом нарушения статистической устойчивости.

**Ключевые слова:** феномен статистической устойчивости, теория гиперслучайных явлений, сходимость, нарушение сходимости, измерение.

**Постановка проблемы.** Особое место среди физических закономерностей занимает статистическая устойчивость – физический феномен, проявляющийся в стабильности относительной частоты массовых событий, средних величин и других статистик. Этот феномен послужил физической основой теории вероятностей, широко используемой при решении различных физических, технических и других задач.

В настоящее время теория вероятности трактуется математиками как математическая теория, основанная на системе абстрактных математических аксиом А. Н. Колмогорова. В рамках этой теории массовые физические явления представляются случайными (стохастическими) математическими моделями, имеющими вероятностную меру. Возможность использования этих моделей для адекватного описания реалий окружающего мира базируется на физической гипотезе идеальной статистической устойчивости, означающей сходимость (состоятельность) оценок параметров и характеристик реальных событий, величин, процессов и полей.

Многие годы гипотеза идеальной статистической устойчивости считалась непоколебимой, хотя некоторые ученые (среди которых даже основоположник современной аксиоматической теории вероятностей А. Н. Колмогоров) отмечали, что в реальном мире эта гипотеза справедлива лишь с определенными оговорками.

Пока объемы обрабатываемых данных оставались относительно небольшими, вопрос о сходимости реальных статистик не был особенно актуальным. Однако ситуация изменилась в последнее время с появлением новых задач, требующих обработки больших массивов данных, получаемых на больших интервалах наблюдения.

**Задачи исследования** – ознакомить с результатами исследования феномена статистической устойчивости на больших интервалах наблюдения и представить новую теорию гиперслучайных явлений, описывающую физические события, величины, процессы и поля с учетом нарушений статистической устойчивости [1, 2].

**Суть исследований.** В работе формализовано понятие статистической устойчивости и разработана методика оценки нарушений статистической устойчивости процессов на бесконечном и конечном интервалах наблюдения.

В результате теоретических исследований установлено, что нарушения статистической устойчивости зависят от типа исследуемого процесса и вида статистики. Нарушения устойчивости возможны, как в случае детерминированных, так и в случае случайных процессов. Статистически неустойчивыми являются некоторые нестационарные, а также некоторые стационарные случайные процессы. Установлена зависимость статистической устойчивости случайного процесса от его спектральной плотности мощности. Выяснено, что фиолетовый, синий и белый шумы статистически устойчивы по отношению к среднему и среднеквадратическому отклонению (СКО), а розовый, коричневый и черный шумы – статистически неустойчивы по отношению к этим статистикам.

В результате экспериментальных исследований на больших интервалах наблюдения большого числа типов реальных процессов совершенно разной физической природы установлено, что на относительно небольших интервалах наблюдения при увеличении объема выборки выборочные средние и выборочные СКО проявляют тенденцию к стабилизации, однако на больших интервалах наблюдения эта тенденция не наблюдается. На основе этих результатов, была выдвинута физическая гипотеза ограниченной статистической устойчивости физических явлений, предполагающая отсутствие сходимости оценок параметров и характеристик реальных событий, величин, процессов и полей. Из этой гипотезы следует, что вероятность – абстрактное математическое понятие, не имеющая физической интерпретации.

Результаты этих исследований послужили стимулом к формированию новой физико-математической теории гиперслучайных явлений. Объектом исследования новой теории является реальные физические явления – события, величины, процессы и поля, а предметом исследования – нарушения статистической устойчивости характеристик и параметров этих явлений.

В теории вероятностей базовыми математическими объектами (моделями) являются случайные событие, величина и функция; в теории гиперслучайных явлений в таком качестве выступают гиперслучайные событие, величина и функция, представляющие собой множества несвязанных между собой случайных событий, величин и функций.

Математическая составляющая теории гиперслучайных явлений базируется на классических аксиомах теории вероятностей А. Н. Колмогорова, физическая – на гиперслучайных гипотезах: гипотезе ограниченной статистической устойчивости реальных событий, величин, процессов и полей и на гипотезе адекватного описания этих физических явлений гиперслучайными моделями.

В рамках новой теории разработаны различные варианты описания гиперслучайных событий, скалярных и векторных величин, скалярных и векторных процессов и полей. Установлено, что свойства стационарности и эргодичности присущи в обобщенном смысле некоторым гиперслучайным процессам. Исследованы гиперслучайные процессы, обладающие марковскими свойствами. Разработаны основы математической статистики гиперслучайных явлений. Известные варианты сходимости случайных последовательностей и функций обобщены на гиперслучайные последовательности и функции. Заложены основы математического анализа расходящихся и многозначных функций. Для последовательности гиперслучайных величин обобщены закон больших чисел и центральная предельная теорема.

Разработана методика измерения физических величин с учетом нарушений статистической устойчивости. Установлено, что погрешность измерения физических величин не сводится лишь к систематической и случайной составляющим; объяснены причины ограниченной точности измерения реальных физических величин.

### **Выводы**

1. Установлено, что гипотеза идеальной статистической устойчивости, лежащая в основе теории вероятностей, не находит экспериментального подтверждения; в реальном мире существует лишь ограниченная статистическая устойчивость. Отсюда следует, что вероятность – абстрактное математическое понятие, не имеющая физической интерпретации.
2. Для описания физических явлений с учетом ограниченной статистической устойчивостью разработана физико-математическая теория гиперслучайных явлений.
3. Применительно к последовательности гиперслучайных величин обобщены закон больших чисел и центральная предельная теорема.
4. Установлено, что погрешность измерения не сводится лишь к систематической и случайной составляющим; объяснены причины ограниченной точности измерения реальных физических величин.
5. Заложены основы математического анализа расходящихся и многозначных функций.

### **Литература**

1. Gorban I. I. (2017). The Statistical Stability Phenomenon. Springer. 362.
2. Горбань И. И. (2014). Феномен статистической устойчивости. Київ. Наукова думка. 444. Режим доступа: [http://www.immsp.kiev.ua/perspages/gorban\\_i\\_i/Publications/9\\_.pdf](http://www.immsp.kiev.ua/perspages/gorban_i_i/Publications/9_.pdf).

Губарев В. Ф., доктор технических наук, профессор, член-корреспондент НАН Украины,  
Институт космических исследований НАН Украины и ГКА Украины

## РЕДУКЦИЯ ПОРЯДКА МОДЕЛИ СИСТЕМЫ БОЛЬШОЙ РАЗМЕРНОСТИ

**Аннотация.** Рассмотрена важная для приложений проблема редукции порядка модели линейной стационарной системы большой размерности к более простой невысокой размерности.

**Ключевые слова:** редукция моделей; аппроксимация; оптимизация.

Проблема построения аппроксимирующих моделей невысокого порядка для управляемых и наблюдаемых систем, описываемых в пространстве состояний большим числом внутренних переменных, является актуальной для многих приложений. Так, с помощью более простого описания можно достаточно правдоподобно прогнозировать поведение выходных переменных и синтезировать более простые управления, обеспечивающие желаемые динамические показатели управляемых систем.

Имеется достаточно большое число публикаций посвященных этой проблеме. Некоторый их обзор далеко не полный можно найти, например, в статьях [1, 2].

Задача редукции модели была рассмотрена в следующей постановке. Имеем исходное описание линейной стационарной системы большой размерности в пространстве состояний в виде

$$\dot{x} = Ax + Bu, \quad y = Cx, \quad (1)$$

где вектор состояния  $x$  имеет достаточно большую размерность  $N$ . Система (1) может быть скалярной, когда вход  $u$  и выход  $y$  скалярные функции, или многосвязной, когда  $u$  и  $y$  – вектор-функции. В последнем размерности этих векторов предполагаются малыми по сравнению с  $N$ . Ставится задача: для тех же входов и выходов системы построить модель, в которой вектор внутреннего состояния имел бы существенно меньшую размерность. При этом выход редуцированной модели  $\bar{y}$  для любого ограниченного входного воздействия подаваемого (одинакового) на вход исходной и редуцированной моделей удовлетворял условию

$$\|y - \bar{y}\| \leq \varepsilon, \quad (2)$$

где  $\varepsilon$  заданная малая величина согласованная с ограничением на входное воздействие. Норма в (2) устанавливается конкретной задачей.

Поскольку возникает ряд трудных проблем при решении указанной задачи в такой постановке, предлагается иной подход к ее постановке и решению. Вместо (1) будем рассматривать эквивалентное ему описание, которое непосредственно следует из формулы Коши при нулевых начальных условиях

$$y(t) = \int_0^t C\Phi(t - \tau) \cdot Bu(\tau) d\tau, \quad (3)$$

где  $\Phi(\theta)$  – переходная матрица, элементы которой формируются из независимых фундаментальных решений. Целесообразно элементы матриц  $\Phi(\theta)$  аппроксимировать отдельно по каждому входу и выходу. Тогда задача сводится к решению последовательности задач с одним входом и одним выходом независимо.

Опираясь на теорию реализаций, импульсную функцию в скалярном случае можно записать в аналитическом виде

$$y(t) = \int_0^t h(t - \tau) \cdot u(\tau) d\tau, \quad (4)$$

где  $h(\theta) = \sum_{p=1}^P [f_p^c \cos \beta_p \theta + f_p^s \sin \beta_p \theta] e^{-\alpha_p \theta}$ ,  $f_p^c = c_{mp}^c \cdot b_{rp}^c + c_{mp}^s \cdot b_{rp}^s$ ,  $f_p^s = c_{mp}^s \cdot b_{rp}^c - c_{mp}^c \cdot b_{rp}^s$ . Индекс

$m$  соответствует  $m$ -ому выходу, а  $r$  соответствует  $r$ -ому входу. Случай кратных корней для простоты исключается. Под описание (4) попадают системы с действительными и комплексными собственными значениями. У исходной системы  $P$  велико.

В рассматриваемом подходе параметры усеченной модели определяются из решения оптимизационной задачи

$$\|\bar{h} - h\| \rightarrow \min, \quad (5)$$

а размерность  $Q$  усеченной модели, удовлетворяющей условию  $Q \ll P$ , находится итеративно через решение последовательности задач (5), в которых  $Q$  варьируется, начиная, например, с  $Q=1$ . Кроме вариационного был рассмотрен подход, основанный на сингулярном разложении матрицы Ганкеля  $H$ , формируемой из дискретной функции импульсной реакции  $h(\theta)$ . Выражения этой функции через параметры системы (1) позволяют провести факторизацию матрицы  $H$  и представить ее в виде произведения матриц наблюдаемости и управляемости. С помощью SVD-разложения матрицы Ганкеля  $H$  можно по сингулярным числам оценить близость этой матрицы к матрицам неполного ранга и представить  $H$  в виде суммы двух неполноранговых матриц  $H_1$  и  $H_2$ . Это в свою очередь позволяет проводить редукцию порядка модели по матрице  $H_1$ , которая составлена из наиболее существенных мод системы. Представление матрицы  $H_1$  в виде SVD-разложения позволяет для некоторой реализации получить выражение матриц наблюдаемости и управляемости усеченной модели. Из них определяются матрица  $A$  и вектора  $b$  и  $c$  редуцированной модели.

Методами численного моделирования выполнены исследования описанных выше методов. Показана зависимость погрешности аппроксимации  $\varepsilon$  в (2) от размерности  $Q$  редуцированной модели. Сделан сравнительный анализ обоих методов и вычислительных особенностей различных способов оптимизации. Обсуждаются вопросы практического применения полученных результатов.

В результате моделирования установлено, что каждое собственное число усеченной модели меньшего порядка аппроксимирует некоторый класс корней исходной системы. Таким образом, редукция порядка модели приводит к некоторым усредненным значениям инвариантных параметров, а не просто к усечению исходной системы по этим параметрам.

### Литература

1. Antoulas A. C., Sorenson D. C., Gugercin S. A. A survey of model reduction methods for large-scale systems. Contemporary Mathematics. 2001. Vol. 280. P. 193—219.
2. Reis T., Stykel T. A survey on model reduction of coupled systems. Model order Reduction. Theory, Research Aspects and Applications. 2008.

Кунцевич В. М., доктор технических наук, профессор, академик НАН Украины,  
Институт космических исследований НАН Украины и ГКА Украины

## ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ОГРАНИЧЕННЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ НА НЕЛИНЕЙНЫЕ ДИСКРЕТНЫЕ СИСТЕМЫ

**Аннотация.** В докладе получены интервальные инвариантные множества нелинейных дискретных систем, радиус которых является мерой оценки влияния ограниченных возмущений на эти системы.

**Ключевые слова:** дискретные нелинейные динамические системы; ограниченные возмущения.

### 1. Введение

Приведены результаты решения задач определения оценок влияния ограниченных возмущений на достаточно широкий класс нелинейных дискретных систем в виде радиусов интервальных инвариантных множеств этих систем как важнейшего показателя качества их функционирования в условиях неопределенности.

### 2. Постановки и решения задач

Инвариантные множества систем с двухсторонними линейными ограничениями.

Задан класс дискретных систем

$$X_{n+1} = AX_n + f(X_n)B + Z_n, \quad (1)$$

где  $X_n \in \mathbf{R}^m$ ,  $A$  – матрица  $(m \times m)$ ,  $B^T \in \mathbf{R}^m = (1, 0, \dots, 0)$ ,  $Z_n \in \mathbf{R}^m$  – возмущение, для которого задана его оценка

$$Z_n \in \mathbf{Z} = \left\{ Z : \|Z\|_\infty = \sum_{i=1}^m |z_i| \leq \sigma \right\}. \quad (2)$$

Для функции  $f(X_n) = f[\sigma(X_n)]$  где  $\sigma(\cdot) = C^T X_n$ , задана ее оценка в виде конуса первого порядка

$$f[\sigma(X_n)] \in \varphi(X_n) = \varphi^+(X_n) \cup \varphi^-(X_n); \quad i = \overline{1; m}; \quad (3)$$

где

$$\varphi^+(X_n) = \{ \sigma(\cdot) : \underline{k}\sigma(\cdot) \leq f(\cdot) \leq \overline{k}\sigma(\cdot) \} \text{ при } \sigma(\cdot) \geq 0; \quad (4)$$

$$\varphi^-(X_n) = \{ \sigma(\cdot) : \overline{k}\sigma(\cdot) \geq f(\cdot) \geq \underline{k}\sigma(\cdot) \} \text{ при } \sigma(\cdot) \leq 0. \quad (5)$$

При  $X_n \in \mathbf{X}_n$  система (1)-(3) описывается нелинейным разностным включением

$$X_{n+1} \in \mathbf{X}_{n+1} = \bigcup_{\substack{X_n \in \mathbf{X}_n \\ Z_n \in \mathbf{Z}}} [AX_n + \varphi(X_n)B + Z_n].$$

Аппроксимировав это множество интервальным множеством минимального объема [1], получим  $\overline{\mathbf{X}}_{n+1} = \Gamma(\overline{\mathbf{X}}_n) + \mathbf{Z}$ . Подставив в него  $\overline{\mathbf{X}}_{n+1} = \overline{\mathbf{X}}_n = \mathbf{X}^*$ , получим уравнение

$$\mathbf{X}^* = \Gamma(\mathbf{X}^*) + \mathbf{Z}, \quad (6)$$

решение которого определяет искомое интервальное инвариантное множество  $\mathbf{X}^*$ , радиус которого равен

$$r(\mathbf{X}^*) = \max_{X \in \mathbf{X}^*} \left( \|X\|_\infty = \sum_{i=1}^m |x_i| \right),$$

т.е. такое множество, что если  $X_n \in \mathbf{X}^*$ , то и  $X_{n+1} \in \mathbf{X}^*$  при всех возможных значениях  $Z_n$ , удовлетворяющих ограничению (2).

Показано, что **семейство** линейных систем



$$X_{n+1} = (A + kBC^T)X_n + Z_n, \text{ где } \underline{k} \leq k \leq \bar{k}, Z_n \in \mathbf{Z},$$

эквивалентно системе (1), (2), (3).

**Инвариантные множества систем с двухсторонними нелинейными ограничениями.** Рассмотрим тот же класс систем (1), (2), но с функцией  $f(x)$ , удовлетворяющей ограничениям

$$\underline{k} f^*(\sigma_n) \leq f(\sigma_n) \leq \bar{k} f^*(\sigma_n), \quad (7)$$

где  $f^*(C^T X_n = \sigma_n)$  – заданная функция. Из (7) следует, что задано многозначное отображение

$$f[\sigma(X_n) = \sigma_n] \in \eta(X_n) = \{\sigma_n : 0 < \underline{k} f^*(\sigma_n) \leq f(\sigma_n) \leq \bar{k} f^*(\sigma_n)\}. \quad (8)$$

Динамика семейства систем (1), (2), (7) описывается нелинейным разностным включением

$$X_{n+1} \in \mathbf{X}_{n+1} = A\bar{X}_n + \eta(\bar{X}_n)B + \mathbf{Z}. \quad (9)$$

Общая схема решения задачи определения инвариантного множества системы (9) остается прежней.

### 3. Заключение

В докладе для двух наиболее часто встречающихся случаев, когда ограничения на нелинейные функции задаются в виде линейных двухсторонних ограничений и двухсторонних нелинейных ограничений, получены конструктивные решения задач определения такой меры воздействия ограниченных возмущений на нелинейные динамические системы как радиусы их инвариантных множеств. Решения этих задач получены в классе интервальных инвариантных множеств, а все возникающие при этом оптимизационные задачи сведены к комбинаторным задачам. Принимая во внимание их невысокую размерность, решения комбинаторных задач получаются перебором всех вариантов.

### Литература

1. Кунцевич В. М., Куржанский А. Б. Области достижимости линейных и некоторых классов нелинейных дискретных систем и управление ими. Проблемы управления и информатики. 2010. № 1. С. 5—21.

## ЕФЕКТИВНІСТЬ КОМПЛЕКСУВАННЯ МЕХАНІЗМІВ КЕРУВАННЯ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ

**Анотація.** В доповіді наведено нові матеріали, які стосуються перспективного напрямку сучасної теорії керування – ефективного сумісного використання різних методів, способів та структур систем автоматизації для технологічних комплексів неперервного типу, що підвищує оперативність та точність керування і забезпечує виконання вимог щодо ресурсо- та енергоефективності.

**Ключові слова:** механізми керування, системи автоматизації, технологічні комплекси.

Комплексування механізмів керування складними об'єктами набуває все більшого значення в різних постановках та галузях застосування, зокрема в організаційно-технічних системах [1, 2, 3]. В загальній постановці розробляється комплекс оптимальних базових механізмів керування, кожний з яких оптимізує загальний показник ефективності системи та забезпечує неманіпулювання (погіршення показників роботи) окремих підсистем. При цьому повинні зберігатись позитивні властивості механізмів керування при їх комплексуванні за умови виконання загальних вимог стійкості та якості системи.

З точки зору системного аналізу проблема комплексування є задачею агрегування механізмів керування, але існує також і проблема декомпозиції як обернена до агрегування, коли деякий механізм керування розглядається у вигляді сукупності простіших механізмів. Основою декомпозиції можуть бути різні рівні ієрархії або періоди часу прийняття рішень, а спадкування властивостей в процесі декомпозиції такі ж, як і при комплексуванні (агрегуванні).

На відміну від організаційних структур в системах автоматизації складних технологічних об'єктів механізм функціонування – сукупність правил, законів та процедур, які регламентують взаємодію окремих підсистем (частин), а механізмів керування – сукупність процедур формування та прийняття керувальних дій. При комплексуванні та декомпозиції одним з ключових є питання повноти набору елементарних механізмів (можливості побудови потрібного комплексного механізму із заданої множини) та їх мінімальності (мінімального набору елементарних механізмів).

Таким чином, комплексування механізмів керування потребує виконання вимог:

- допустимості (виконання обмежень);
- непротивірчності (достатність інформації, узгодженість та ациклічність процедур прийняття рішень);
- повноти та мінімальності;
- операціональності (можливості застосування аналітичних методів аналізу та синтезу);
- спадковості (стійкості) властивостей механізмів – ефективність, неманіпулюємість, узгодженість) по відношенню до комплексування / декомпозиції.

Сучасна теорія керування використовує ряд методів для підвищення ефективності керування складними об'єктами, серед яких важливе місце займають технологічні процеси, агрегати та комплекси з урахуванням їх суттєвих особливостей. Кожен з методів автоматизації має своє призначення та область застосування, а однією з важливих тенденцій, особливо в останні два-три десятиліття, стало об'єднання цих методів – комплексування – для забезпечення високих техніко-економічних показників функціонування складних об'єктів, яке повинно відповідати поставленим цілям та мати науково-технічне обґрунтування, насамперед щодо використання коректних математичних засобів та можливостей програмного та технічного забезпечення в системах автоматизації. Комплексування базується на перевагах у досягненні цілей на основі системного підходу та ефекту емерджентності, який полягає в тому, що система має нові (емерджентні) властивості, яких не має жоден з її елементів (підсистем),

але це не визначається простою сумою властивостей окремих частин, у тому числі використовуваних методів. Таким чином, коли мова йде про методи автоматизації, то їх відбір визначається системоутворюваним ефектом щодо сприяння досягненню мети при функціонуванні системи. Для визначення системоутворювальних факторів необхідно на основі аналізу функцій та цілей системи враховувати, насамперед, ряд характеристик та властивостей, які є інваріантними для будь-якої системи: цілісність, взаємозалежність, когерентність, стохастичність, цілеспрямованість, еволюціонізм, відкритість, тривалість неперервного функціонування.

Для систем автоматизації емерджентність проявляється за рахунок взаємодії підсистем (елементів) або використання нових методів, їх комплексування та забезпечує:

- значне нелінійне підсилення малопомітної раніше властивості;
- непередбачений поділ (біфуркації) будь-якої підсистеми;
- рекомбінацію зв'язків між елементами. Використання ієрархічних систем керування

приводить до виражених системних ефектів, у тому числі емерджентності, але додавання до існуючої системи нових більш високих рівнів ієрархії уповільнює зростання системних ефектів у порівнянні з нижніми рівнями. В той же час, чим вищий ступінь ієрархічності системи керування, тим вона менше змінює рівень системності і тим більша живучість системи, що пояснюється наявністю системоутворювальних факторів на різних рівнях організації системи.

Комплексування методів автоматизації співпадає за часом з розробкою та впровадженням інтегрованих систем керування різного призначення, що в 90-х роках минулого століття за рахунок розвитку комп'ютерних технологій та нових видів ЕОМ привело до створення нових структур в рамках концепції комп'ютерно-інтегрованого виробництва – CJM (Computer Manufacturing System) [4]. Виробництва та технологічні комплекси неперервного типу характеризуються значними матеріальними та енергетичними потоками, що породжує значні інформаційні масиви, які використовуються в системах автоматизації.

Подальший розвиток автоматизації як визначального напрямку науково-технічного прогресу безпосередньо пов'язаний з появою та розвитком MES-систем (Manufacturing Execution System), в яких реалізуються функції оптимізації виробництва з використанням задач аналізу інформації та координації підсистем на основі спеціалізованих програмних комплексів. Використання MES-систем як спеціального промислового софту дозволяє значно підвищити фондівіддачу технологічного обладнання та досягти високих техніко-економічних показників виробництва [5]. В той же час для конкретних умов завжди виникає науково-технічна задача розробки необхідного математичного забезпечення та надаються унікальні можливості комплексування сучасних методів автоматизації в рамках MES-систем для конкретного виробництва, особливо за умов інтеграції з ERP (Enterprise Resource Planning System) – системою планування ресурсів підприємства.

### Література

1. Ладанюк А. П., Луцкая Н. М. Особенности задач робастного управления технологическими объектами. Часть 1. Технологические объекты и их математические модели. Международный научно-технический журнал «Проблемы управления и информатики». 2016. № 5. С. 16—23.
2. Луцька Н. М., Ладанюк А. П. Оптимальні та робастні системи керування технологічними об'єктами: монографія. Київ. Видавництво Ліра-К. 2016. 288 с.
3. Бурков В. Н., Коргин Н. А., Новиков Д. А. Проблемы комплексирования и декомпозиции механизмов управления организационно-техническими системами. Control sciences. 2016. №5. С. 14—23.
4. Борзенко И. М., Пигот С. Г. К вопросу об интеграции на автоматизированных предприятиях будущего. Приборы и системы управления. 1990. №1. С. 4—8.
5. Ицкович Э. Л. Методы комплексной автоматизации производства предприятий технологических отраслей. Москва. Красанд. 2013. 232 с.

УДК 519.876.2

**Боровская Т. Н.**, доктор технических наук, доцент,  
Винницкий национальный технический университет  
**Севериков В. А.**, кандидат технических наук, доцент,  
Винницкий национальный технический университет  
**Севериков П. В.**,  
Винницкий национальный технический университет

## ОПТИМАЛЬНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ С НЕЛИНЕЙНЫМ НАБЛЮДАТЕЛЕМ СОСТОЯНИЯ И ПАРАМЕТРОВ

**Аннотация.** Разработана оптимальная система управления многопродуктовым производством с нелинейным наблюдателем состояния и параметров производственной системы. Использована методология оптимального агрегирования производственных систем, позволяющая заменить рациональную ресурсную структуру производства оптимальным эквивалентным элементом «затраты, выпуск» производственной системы. Решение задач синтеза регулятора и наблюдателя упрощается вследствие малой размерности агрегированного объекта. Приведен пример моделирования системы. Область применения – управление процессами в системе биореакторов.

**Ключевые слова:** производство, оптимальное агрегирование, моделирование, биотехнологии, наблюдатель состояния.

**Постановка проблемы.** Производственные системы как объекты управления не достигли уровня транспортных систем – наземных, воздушных морских и космических.

Причины выглядят очевидными: высокая размерность моделей объекта, хаотическое множество связей между подсистемами: технологических, ресурсных, информационных, финансовых, социальных, экономических.

В качестве решения проблемы управления рассматривается управление на базе методологии оптимального агрегирования [1] с использованием наблюдателя вектора состояния и параметров модели объекта.

**Задачи исследования:** разработка нелинейного наблюдателя нелинейного объекта и его параметров; разработка рабочих моделей динамики оптимально агрегированных систем; разработка подсистемы синтеза регулятора и наблюдателя.

На рис. 1 [2] представлены структура и математическая модель САУ с наблюдателем, где использованы обозначения, соответствующие принятым в теории наблюдателей для линейных систем.  $K_{synt}()$ ,  $L_{synt}()$  – программные модули синтеза параметров законов управления.

**Динамика оптимально агрегированных систем.** Методы оптимального агрегирования позволяют при выполнении определенных условий (монотонности функций производства (ФП) и рациональности связей между подсистемами) заменить производственную систему оптимальной эквивалентной функцией производства (ОЭФП) по «входу, выходу» [1].

Операнд результата содержит, кроме значений ОЭФП также соответствующие оптимальные распределения ресурса (или нагрузки в сопряженной задаче).

Векторизованный модуль «динамика» рассчитывает текущие значения выпуска всех подсистем с учетом инерционного и временного запаздывания.

**Исследование и тестирование.** На рис. 2 представлены примеры моделирования переходных процессов (рис. 2,а – система с наблюдателем, рис. 2,б – система с непосредственным измерением состояния).

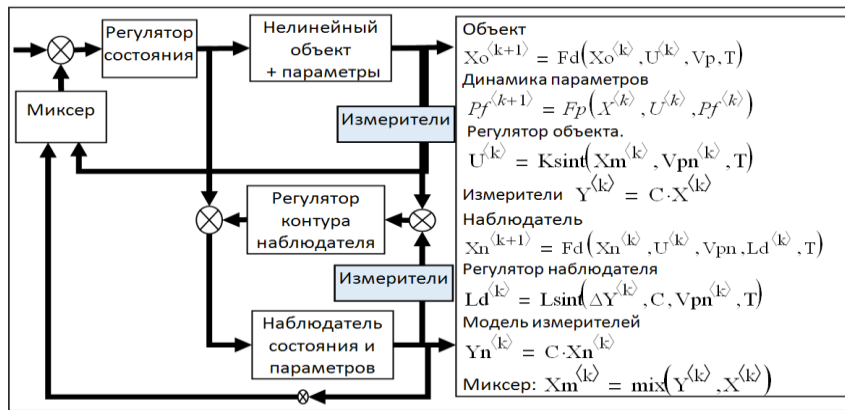


Рисунок 1 – Структура и математическая модель нелинейного объекта с нелинейным наблюдателем

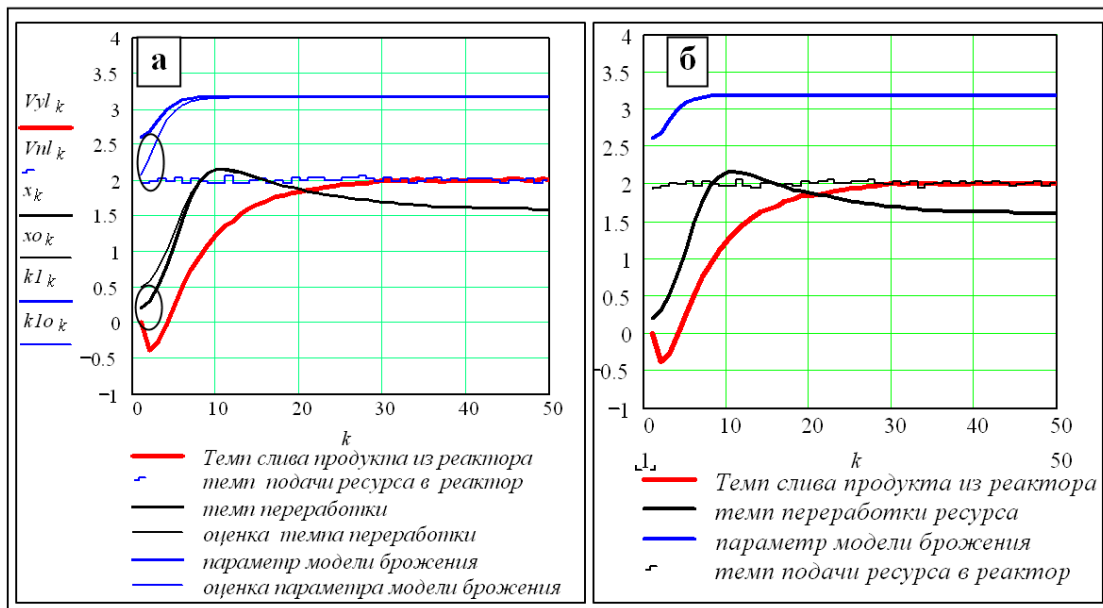


Рисунок 2 – Моделирование нелинейной технологической системы с наблюдателем

Разработаны версии программных модулей синтеза регулятора и наблюдателя на базе линейных приближений модели объекта и поискового метода.

**Выводы.** Поставлена проблема разработки эффективной САУ для многопродуктового производства. Оперативное управление таким производством сводится к перераспределению ресурсов или объёмов выпуска продуктов производства в соответствии с изменениями их рыночной эффективности. Методология оптимального агрегирования эффективно решает многомерные задачи распределения ресурсов. Выполнена разработка: модели нелинейного наблюдателя вектора состояния и параметров модели объекта; модели динамики оптимально агрегированных систем; - программных модулей синтеза регулятора и наблюдателя.

### Литература

1. Боровська Т. М., Колесник І. С., Северілов В. А. Метод оптимального агрегування в оптимізаційних задачах: монографія. Вінниця. 2009. 229 с. ISBN 978-966-641-285-3.
2. Borovska T., Severilov P., Kolesnik I., Severilov V. The optimal aggregation of integrated regional systems “production, waste recycling”. Advances in Intelligent Systems and Computing 512. Selected Papers from International Conference on Computer Science and Information Technologies. CSIT 2016. September 6-10 Lviv. Ukraine. Switzerland. Springer International Publishing AG 2017. 2016. 165-174. DOI: 10.1007/978-3-319-45991-2\_11.

**Боровская Т. Н.**, доктор технических наук, доцент,  
Винницкий национальный технический университет  
**Северилов В. А.**, кандидат технических наук, доцент,  
Винницкий национальный технический университет  
**Вернигора И. В.**,  
Винницкий национальный технический университет

## УПРАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВОМ С УЧЁТОМ ИЗМЕНЕНИЙ ЦЕН РЕСУРСОВ И ПРОДУКТОВ НА БАЗЕ МЕТОДОЛОГИИ ОПТИМАЛЬНОГО АГРЕГИРОВАНИЯ

**Аннотация.** Разработана автоматизированная система управления многопродуктовым производством и развитием со встроенной оптимизацией суммарного выпуска при заданных ограничениях ресурсов. Методология оптимального агрегирования устраняет ограничения на вид функций производства и развития. Вычислительные затраты метода оптимального агрегирования только линейно зависят от размерности задачи оптимизации. Результат оптимизации – оптимальная эквивалентная функция суммарного производства, зависящая от суммарных затрат ресурса и цен ресурсов и продуктов производства. На имитационной модели системы производителей выполнены исследования частотных распределений дохода при различных методах управления.

**Ключевые слова:** производство, развитие, оптимальное агрегирование, моделирование, цены.

**Постановка проблемы.** Современное программное обеспечение АСУП не базируется на целостной математической модели, отображающей все ресурсные связи предприятия. Неизвестны рациональные математические модели управления предприятием с учётом «социальных выгод» и «социальных потерь», возмущений рынка. Рассмотрены модели функционирования и развития отдельного предприятия и системы предприятий некоторого сегмента производства. Методы оптимального агрегирования [1] позволяют встраивать модуль оптимизации в имитационную модель объекта.

**Задачи исследования:** параметризация функций «затраты, выпуск»; разработка параметризованных бинарных операторов оптимального агрегирования; моделирование рыночных «механизмов»; исследование систем «М производителей, N продуктов» при ценовых возмущениях.

**Параметризация функций производства.** Все модели данной работы реализованы в программных средах. Далее приведены модели производственных функций (ФП): без параметров:  $y = f(x)$ , где  $x$  – затраты ресурсов; ФП с параметрами:  $y = f(x, vP)$ ,  $y = f(x, vP, vC)$ , где  $vP$  – вектор параметров ФП,  $vC$  – вектор цен ресурсов и продуктов; ФП с параметрами – функциями пользователя:  $y = f(x, vP(xr, vTch), vC(xm, vMrc))$ , где параметры – функции пользователя, зависящие от  $xr$ ,  $xm$  – ресурсов для подсистем развития и маркетинга с векторами параметров  $vTch$ ,  $vMrc$ .

**Параметризация операторов оптимального агрегирования.** Бинарный оператор оптимального агрегирования берёт две функции класса «затраты, выпуск» подсистем с ресурсной связью и возвращает оптимальную эквивалентную функцию производства (ОЭФП). Оптимальное агрегирование сводит многомерную задачу нелинейного программирования к одномерной задаче, эквивалентной по «входу, выходу» производственной системы [1]. Естественно сохранить в агрегированной модели зависимости от цен и других факторов. Далее записаны следующие формулы:  $f2[xs \cdot (1 - \alpha)]$  – ФП подсистем; формула агрегирования

$$F_{opt} = \begin{matrix} f2o \\ / \quad \backslash \\ f1 \quad f2 \end{matrix} ; \text{ параметризованные формулы агрегирования, } F_{opt}(vC) = \begin{matrix} f2o \\ / \quad \backslash \\ f1(vC) \quad f2(vC) \end{matrix} ;$$

$$F_{opt}(vMrc1, vMrc2) = \begin{matrix} f2o \\ / \quad \backslash \\ f1(vC(xm, vMrc1)) \quad f2(vC(xm, vMrc2)) \end{matrix}$$

**Моделирование рыночных «механизмов».** Разработаны следующие рабочие модели динамики и статики рынков: – обобщённые модели «спрос – предложение»; – модели установления цен на рынках с информационной асимметрией, модели выбора потребителя на линейке продуктов [1, 2], получены решения вариационных задач об оптимальных ценовых и кредитных стратегиях. Эти модели сложны, но представлены как функции пользователя.

**Исследование систем «М производителей, N продуктов».** На рис. 1 представлен пример статистики «виртуальной реальности». Видим неадекватность классической гауссовской статистики и наличие определённых закономерностей в многомодовых ограниченных распределениях и сходимости при увеличении выборки.

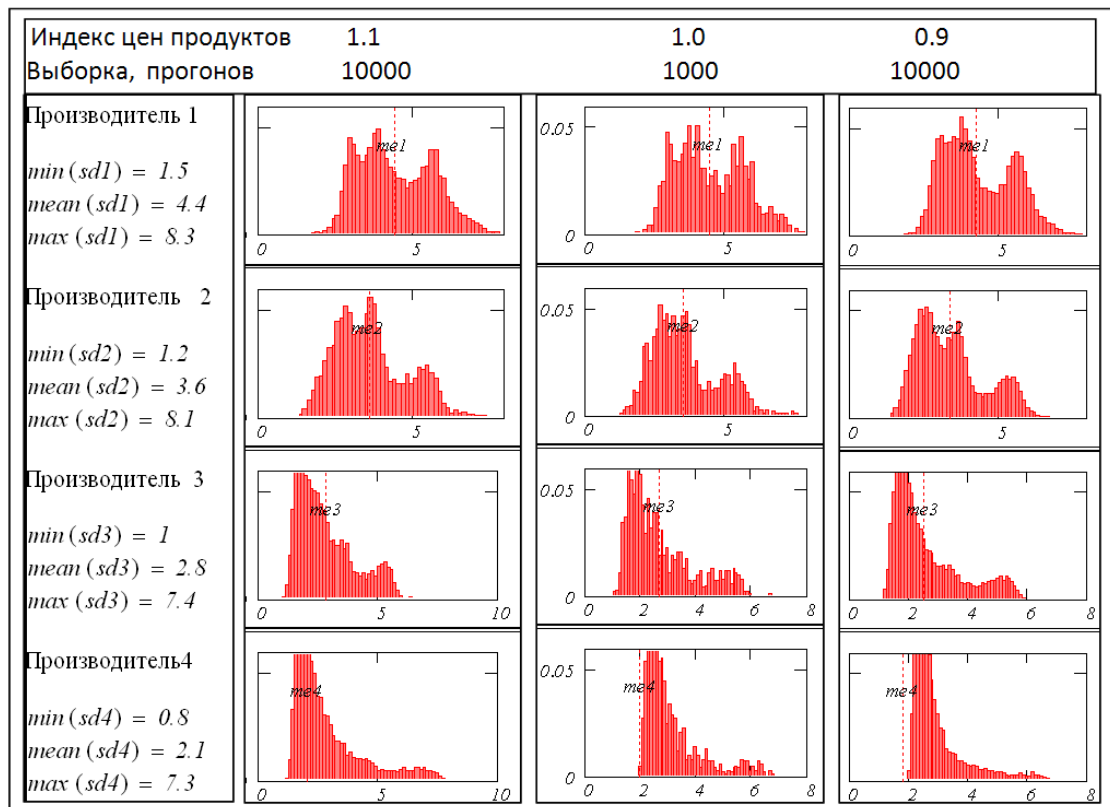


Рисунок 1 – Распределения вероятностей дохода в системе «4 производителя, 3 продукта»

**Выводы.** Главная особенность современного предприятия наличие множественных нелинейных, нестационарных и стохастических связей с окружением. Учёт этих связей – необходимое условие удовлетворительного управления предприятием. Функции производства (ФП) объективно определяются как технологические преобразователи ресурсов в продукт, измеренных в натуральных единицах. Для учёта реалий рынков ФП сформированы как функции затрат ресурсов и параметров – цен ресурсов и продуктов. Выполнена модификация операторов оптимального агрегирования. Оптимальные эквивалентные ФП агрегированных подсистем представлены как функции суммарных затрат ресурса и векторов цен ресурсов и продуктов, выпускаемых подсистемой. Предложена и исследована форма параметризованных ФП, где параметрами являются не цены, а «порождающие механизмы» цен. Для производителя цены рынка могут быть как внешним возмущением, так управляющей переменной, поэтому проведены исследования этих ситуаций на имитационных моделях.

### Литература

1. Боровська Т. М., Колесник І. С., Северілов В. А. Метод оптимального агрегування в оптимізаційних задачах: монографія. Вінниця. 2009. 229 с. ISBN 978-966-641-285-3.
2. Боровська Т. М., Бадьора С. П., Северілов В. А., Северілов П. В. Моделювання і оптимізація процесів розвитку виробничих систем з урахуванням використання зовнішніх ресурсів та ефектів освоєння: монографія. Вінниця. 2009. 255 с. ISBN 978-966-641-312-6.

**Кифоренко Б. Н.**, доктор физико-математических наук, профессор,  
Институт механики имени С. П. Тимошенко НАН Украины  
**Кифоренко С. И.**, доктор биологических наук, старший научный сотрудник,  
Международный научно-учебный центр информационных технологий  
и систем НАН Украины и МОН Украины

## ИНВАРИАНТНЫЕ СООТНОШЕНИЯ В ТЕОРИИ ИЗБЫТОЧНО УПРАВЛЯЕМЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

**Аннотация.** Рассматриваются соотношения между управляющими функциями динамических систем, не зависящие от субъективных аспектов задачи оптимизации: краевых условий и критерия качества. Такие соотношения имеют место для систем, у которых размерность множества допустимых управлений не меньше количества уравнений движения, в которые непосредственно входят управляющие функции. Показано, что эти соотношения выражают принцип минимума диссипации энергии управления. Обсуждается возможность использования этого принципа в качестве критерия отбора действительных движений из множества виртуальных при математическом описании процессов управления в технических устройствах и в живой природе.

**Ключевые слова:** избыточность управлений, инвариантность, иерархия, диссипация энергии управления, целесообразно управляемая динамическая система, критерий отбора.

При решении некоторых задач оптимизации движения объектов, описываемого обыкновенными дифференциальными уравнениями, были получены соотношения между управляющими функциями, не зависящие от краевых условий задачи и критерия качества управления. Природа столь необычных зависимостей в известных авторам публикациях не обсуждается. Цель доклада: определить условия, при которых такие соотношения имеют место, выяснить и обсудить теоретические и прикладные аспекты организации процесса управления, обусловленные необходимостью их выполнения.

**Постановка проблемы.** Рассматриваются управляемые объекты, уравнения функционирования которых записываются в виде:

$$\frac{dx_i}{dt} = f_i(x, u), \quad i = 1, \dots, n, \quad \frac{dx_j}{dt} = f_j(x), \quad j = n + 1, \dots, m \quad (1)$$

Здесь  $x = \{x_1, \dots, x_m\}$  – фазовый вектор системы,  $u = \{u_1, \dots, u_r\}$  – вектор управления,  $t$  – время. При  $r \geq n$  описанную систему (1) именуем системой с избыточным управлением. Пусть сформулирована задача Майера о переводе объекта из некоторого начального положения  $x(t_0)$

в фазовом пространстве в указанное конечное положение  $x(t_1)$  с минимальным значением функционала  $J(u) = \varphi(x(t_1))$ . При анализе оптимального управления с использованием принципа максимума установлено, что при  $r \geq n$  удовлетворение необходимых условий оптимальности возможно лишь при выполнении  $(r - n + 1)$  соотношений,

$$\frac{D(f_1, \dots, f_n)}{D(u_1, \dots, u_{n-1}, u_n)} = 0, \quad \frac{D(f_1, \dots, f_n)}{D(u_1, \dots, u_{n-1}, u_n)} = 0, \quad \frac{D(f_1, \dots, f_n)}{D(u_1, \dots, u_{n-1}, u_r)} = 0 \quad (2)$$

представляющих собой правила согласования избыточных управлений. Отличительной особенностью соотношений (2) является их независимость от сопряженных функций задачи и, следовательно, от краевых условий задачи Майера и критерия качества управления. Заметим, что соотношения (2) могут быть выписаны для системы (1) даже до формулировки какой либо оптимизационной задачи Майера. Необходимо установить, какое свойство объекта выражают эти инвариантные относительно цели и цены управления соотношения.



Интерпретация соотношений (2) получена при их анализе в пространстве годографа фазовой скорости. Оказалось, что все вектора вариаций фазовой скорости  $\partial f / \partial u_1, \partial f / \partial u_2, \dots, \partial f / \partial u_r$  при оптимальном управлении должны быть коллинеарны единой  $(n-1)$  – гиперплоскости  $\Psi$ . Следовательно, на оптимальных траекториях системы (1) функционал

$$\Omega = \frac{1}{2} \int_{t_0}^{t_1} (n_1^2 + n_2^2 + \dots + n_r^2) \Delta u^2 \cdot dt, \quad (3)$$

принимает минимальное значение, равное нулю. В формуле (3)  $n_k$  – проекция вектора  $\partial f / \partial u_k$  на нормаль к гиперплоскости  $\Psi$ . Отличное от нуля значение функционала (3) характеризует потери энергии управления при выборе управляющих воздействий, осуществляемом без учета правил согласования (2). Таким образом, удовлетворение соотношений (2) обеспечивает минимизацию указанных потерь, т.е. выполнение *принципа минимума диссипации энергии управления*. При этом устанавливаются  $(r-n+1)$  связей (2), накладываемых на выбор  $r$  управляющих функций, т.е. постулируемая при формулировке задачи размерность множества допустимых управлений  $r$  снижается до  $(n-1)$  – размерности множества оптимальных управлений.

Назовем систему дифференциальных уравнений (1), дополненную конечными соотношениями (2), целесообразно управляемой. При этом для решения оптимизационной задачи необходимо выбрать только  $(n-1)$  управлений с учетом краевых условий и функционала. Остальные управления вычисляются по правилам (2). Инвариантность этих соотношений позволяет "встроить" их в систему управления объекта, которая должна, по крайней мере, иметь два уровня иерархии. Задача верхнего уровня состоит в оценке состояния объекта  $x(t)$  и в выборе управлений  $u_1(t), \dots, u_{n-1}(t)$  – исходя из выбранной цели и понимания цены управления. На нижнем же уровне генерируются "внутренние" управления  $u_n(t), \dots, u_r(t)$ . Использование предложенной структуры системы управления позволяет снизить размерность пространства поиска управлений движением технических объектов.

Проблема снижения размерности особенно актуальна при описании процессов управления в живой природе, поскольку избыточность – одно из основных свойств живой материи и одна из ключевых проблем адекватного описания ее функционирования. Так, создатель современной теории функциональных систем П. К. Анохин в работе "Принципиальные вопросы общей теории функциональных систем" 1971 г. конкретно формулирует основную задачу: "... мы должны вскрыть те детерминирующие факторы, которые освобождают компоненты системы от избыточных степеней свободы ... Без определения этого фактора ни одна концепция по теории систем не может быть плодотворной". Таким системообразующим фактором П. К. Анохин предлагает считать конкретный результат деятельности системы.

Указанная гипотеза П. К. Анохина, дополненная предположением об оптимальности процессов управления в живой природе, позволяет использовать теорию оптимизации в качестве одного из инструментов при формализованном описании этих процессов. Изложенный выше принцип предлагается использовать как гипотетическую форму всеобщего опытного принципа минимума диссипации энергии, специфическую для живой природы. Обсуждается возможность использования этого принципа в качестве критерия отбора действительных движений из множества виртуальных при математическом описании процессов управления в технических устройствах и в живой природе.

Кузьменко Б. В., доктор технічних наук, професор,  
Інститут вугільних енерготехнологій НАН України  
Лисенко В. П., доктор технічних наук, професор,  
Національний університет біоресурсів і природокористування України

## ХАОС ТА ЧУТЛИВІСТЬ ДО ПОЧАТКОВИХ УМОВ В ПИТАННЯХ МОДЕЛЮВАННЯ В ЕНЕРГЕТИЧНІЙ ГАЛУЗІ І АВТОМАТИЗАЦІЇ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ

Теорія хаосу – математичний апарат, що описує поведінку деяких нелінійних динамічних систем, схильних за певних умов до явища, відомого як хаос. Поведінка такої системи здається випадковою, навіть якщо модель, що описує систему, є детермінованою. Прикладами подібних систем є атмосфера, турбулентні потоки, біологічні популяції, суспільство як система комунікацій і його підсистеми: економічні, політичні та інші соціальні системи. Їх вивченням поряд з аналітичним дослідженням наявних рекурентних співвідношень, зазвичай супроводжується математичним моделюванням. Теорія хаосу – область досліджень, що зв'язує математику, фізику і філософію. Теорія хаосу стверджує, що складні системи надзвичайно залежні від початкових умов і невеликі зміни в навколишньому середовищі ведуть до непередбачуваних наслідків. Математичні системи з хаотичним поведінкою є детермінованими, то тобто підкоряються деякого суворому закону і, в якомусь сенсі, є впорядкованими. Таке використання слова «хаос» відрізняється від його звичайного значення (як хаос в міфології). Існує також така галузь фізики, як теорія квантового хаосу, що вивчає недетерміновані системи, що підкоряються законам квантової механіки. Піонерами теорії вважаються французький фізик і філософ Анрі Пуанкаре (довів теорему про повернення), радянські математики А. Н. Колмогоров і В. І. Арнольд та німецький математик Ю. К. Мозер побудували теорію хаосу, звану КАМ (теорія Колмогорова-Арнольда-Мозера). Теорія вводить поняття атракторів (в тому числі, дивних атракторів як притягують Канторова структур), стійких орбіт системи (т. Н. КАМ-торів). У побутовому контексті слово «хаос» означає «бути в стані безладу». У теорії хаосу прикметник хаотичний визначено більш точно. Хоча загальноприйнятого універсального математичного визначення хаосу немає, зазвичай використовується визначення каже, що динамічна система, яка класифікується як хаотична, повинна мати такі властивості: вона повинна бути чутлива до початкових умов; вона повинна мати властивість топологічного змішування; її періодичні орбіти повинні бути всюди густими. Більш точне математичні умови виникнення хаосу виглядають так: система повинна мати нелінійні характеристики, бути глобально стійкою, але мати хоча б одну нестійку точку рівноваги коливального типу, проте розмірність має бути не меншою за 1.5 з порядком диференціального рівняння не менше третього. Лінійні системи ніколи не бувають хаотичними. Для того, щоб динамічна система була хаотичною, вона повинна бути нелінійною. По теоремі Пуанкаре-Бендиксона (Poincaré-Bendixson), безперервна динамічна система на площині не може бути хаотичною. Серед безперервних систем хаотична поведінка мають тільки неплоскі просторові системи (обов'язкова наявність не менше трьох вимірів або неевклідова геометрія). Однак дискретна динамічна система на якійсь стадії може виявляти хаотичну поведінку навіть в одновимірному чи двовимірному просторі.

Чутливість до початкових умов в такій системі означає, що всі точки, спочатку близько наближені між собою, в майбутньому мають значно відрізняються траєкторії. Таким чином, довільно невелика зміна поточної траєкторії може привести до значної зміни в її майбутній поведінці. Доведено, що останні дві властивості фактично мають на увазі чутливість до початкових умов (альтернативне, більш слабе визначення хаосу використовує тільки перші дві властивості з вищезгаданого списку). Чутливість до початкових умов більш відома як «Ефект метелика». Термін виник у зв'язку зі статтею «Пророцтво: Помах крил метелика в Бразилії викличе торнадо в штаті Техас», яку Едвард Лоренц в 1972 році вручив американської «Асоціації для просування науки» у Вашингтоні. Помах крил метелика символізує дрібні зміни в первісному стані системи, які викликають ланцюжок подій, що ведуть до великомасштабних змін. Якби метелик не плескав крилами, то траєкторія системи була б зовсім іншою, що в

принципі доводить певну лінійність системи. Але дрібні зміни в первісному стані системи можуть і не викликати ланцюжок подій. Топологічне змішування в динаміці хаосу означає таку схему розширення системи, що одна її область в якійсь стадії розширення накладається на будь-яку іншу область. Математичне поняття «змішування» як приклад хаотичної системи відповідає змішуванню різнокольорових фарб або рідин. У популярних роботах чутливість до первинних умов часто плутається з самим хаосом. Грань дуже тонка, оскільки залежить від вибору показників виміру і визначення відстаней в конкретній стадії системи. Наприклад, розглянемо просту динамічну систему, яка неодноразово подвоює первинні значення. Така система має чутливу залежність від первинних умов скрізь, оскільки будь-які дві сусідні точки в первинній стадії згодом випадковим чином будуть на значній відстані один від одного. Проте її поведінка тривіальна, оскільки усі точки окрім нуля мають тенденцію до нескінченності, і це не топологічне змішування. У визначенні хаосу увага зазвичай обмежується тільки закритими системами, в яких розширення і чутливість до первинних умов об'єднуються зі змішуванням.

Навіть для закритих систем, чутливість до первинних умов не ідентична з хаосом в сенсі викладеному вище. Наприклад, розглянемо тор (геометрична фігура, поверхня обертання кола навколо осі, що лежить в площині цього кола – має форму бублика), заданий парою кутів  $(x, y)$  зі значеннями від нуля до  $2\pi$ . Відображення будь-якої точки  $(x, y)$  визначається як  $(2x, y+a)$ , де значення  $a/2\pi$  є ірраціональним. Подвоєння першої координати у відображенні вказує на чутливість до первинних умов. Проте, через ірраціональну зміну в другій координаті, немає ніяких періодичних орбіт – отже відображення не є хаотичним згідно з вищезгаданим визначенням. Атрактор (англ. attract – притягати, притягувати) – безліч станів (точніше – точок фазового простору) динамічної системи, до якого вона прагне з часом. Найбільш простими варіантами атрактора є притягуюча нерухома точка (приміром, в завданні про маятник з тертям) і періодична траєкторія (приклад – коливання, що самозбуджуються, в контурі з позитивним зворотним зв'язком), проте бувають і значно складніші приклади.

Деякі динамічні системи є хаотичними завжди, але у більшості випадків хаотична поведінка спостерігається тільки в тих випадках, коли параметри динамічної системи належать до деякого спеціального підпростору.

Найцікавіші випадки хаотичної поведінки, коли великий набір первинних умов призводить до зміни на орбітах атрактора. Простий спосіб продемонструвати хаотичний атрактор - це розпочати з точки в районі тяжіння атрактора і потім скласти графік його подальшої орбіти. Більшість типів руху описуються простими атракторами, що є обмеженими циклами. Хаотичний рух описується дивними атракторами, які дуже складні і мають багато параметрів. Наприклад, проста тривимірна система погоди описується відомим атрактором Лоренца (Едвард Лоренц) – однією з найвідоміших діаграм хаотичних систем, не лише тому, що вона була однією з перших, але і тому, що вона одна з найскладніших. Іншим таким атрактором є атрактор Ресслера (Отто Ресслер), яка має подвійний період, подібно до логістичного відображення.

Дивні атрактори з'являються в обох системах, і у безперервних динамічних (типу системи Лоренца) і в деяких дискретних (наприклад, відображення Ено (Énon)). Деякі дискретні динамічні системи названі системами Жуліа за походженням. І дивні атрактори, і системи Жуліа мають типову рекурсивну, фрактальну структуру [1].

Теорема Пуанкаре-Бендиксона доводить, що дивний атрактор може виникнути у безперервній динамічній системі, тільки якщо вона має три або більше вимірів. Проте це обмеження не працює для дискретних динамічних систем. Дискретні двох- і навіть одновимірні системи можуть мати дивні атрактори. Рух трьох або більшої кількості тіл, що випробовують гравітаційне тяжіння за деяких початкових умов може виявитися хаотичним рухом.

### Література

1. Кузьменко Б. В., Лисенко В. П. Спеціальні розділи вищої математики: нечіткі множини, нечіткі відношення, нечітка логіка та основи теорії наближених міркувань, двійкові динамічні системи, теорія випадкових процесів і функцій, прикладна теорія катастроф. Київ. Фенікс. 2006. 416 с.

## СТАБИЛИЗАЦИЯ ПО ВЫХОДУ И ВЗВЕШЕННОЕ ПОДАВЛЕНИЕ ВОЗМУЩЕНИЙ В ДИСКРЕТНЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ

**Аннотация.** Получены новые условия стабилизируемости по измеряемому выходу для класса нелинейных дискретных систем управления, представленных в векторно-матричной форме. Для дискретных систем с управляемыми и наблюдаемыми выходами предложены методы построения статических и динамических регуляторов, обеспечивающих заданную оценку взвешенного уровня гашения внешних и начальных возмущений. Реализация данных методов с использованием статических регуляторов по состоянию или динамических регуляторов полного порядка основана на решении систем линейных матричных неравенств.

**Ключевые слова:** дискретная система управления, робастная устойчивость, внешние возмущения,  $H_\infty$ -оптимизация.

В докладе предлагаются новые результаты исследований ряда задач теории дискретных систем управления в рамках методов пространства состояний.

### 1. Стабилизация систем по измеряемому выходу.

Для класса дискретных систем: 
$$x_{t+1} = A(x_t)x_t + B(x_t)u_t, \quad y_t = C(x_t)x_t + D(x_t)u_t, \quad t = 0, 1, 2, \dots \quad (1)$$
 формулируются условия существования и методы построения статических и динамических регуляторов по измеряемому выходу  $y_t$ , обеспечивающих асимптотическую устойчивость нулевого состояния  $x_t \equiv 0$  [1]. При использовании статических регуляторов по состоянию или динамических регуляторов полного порядка данные условия сводятся к решению системы линейных матричных неравенств (ЛМН). В общем случае предлагается итерационный алгоритм вычисления матриц стабилизирующего регулятора, на каждом шаге которого решается система ЛМН. Для численного решения ЛМН используются достаточно эффективные средства LMI Toolbox системы MATLAB.

### 2. Робастная стабилизация и квадратичная оптимизация систем.

Для класса нелинейных нестационарных систем управления 
$$x_{t+1} = A(x_t, t)x_t + B(x_t, t)u_t, \quad y_t = C(x_t, t)x_t + D(x_t, t)u_t, \quad t = 0, 1, 2, \dots \quad (2)$$
 на основе обобщения леммы Питерсена о матричной неопределенности [3] в терминах ЛМН дается описание множества статических регуляторов по выходу

$$u = K(x_t, t)y_t, \quad K(x, t) = K_* + \tilde{K}, \quad \tilde{K} \in \{K : K^T P K \leq Q\}, \quad P = P^T > 0, \quad Q = Q^T > 0,$$

обеспечивающих асимптотическую устойчивость состояния  $x_t \equiv 0$  и общую квадратичную функцию Ляпунова  $v(x, t) = x^T X_t x$  [1, 2]. При этом рассматриваются случаи полиэдральной неопределенности матричных коэффициентов:

$$A(x, t) \in \text{Co}\{A_1, \dots, A_\alpha\}, \quad B(x, t) \in \text{Co}\{B_1, \dots, B_\beta\}, \quad C(x, t) \in \text{Co}\{C_1, \dots, C_\gamma\}, \\ D(x, t) \in \text{Co}\{D_1, \dots, D_\delta\},$$

а также возможность достижения заданной оценки квадратичного функционала качества:

$$J(u, x_0) = \sum_t \varphi(x_t, u_t, t) \leq \omega, \quad \varphi(x, u, t) = \begin{bmatrix} x^T & u^T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S & N \\ N^T & R \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ u \end{bmatrix}, \quad S \geq NR^{-1}N^T + \delta I_n.$$

**3.  $H_\infty$ -оптимизация систем с управляемыми и наблюдаемыми выходами.** Для класса линейных систем управления:

$$\begin{aligned}x_{t+1} &= Ax_t + B_1 w_t + B_2 u_t, \\z_t &= C_1 x_t + D_{11} w_t + D_{12} u_t, \\y_t &= C_2 x_t + D_{21} w_t + D_{22} u_t,\end{aligned}\tag{3}$$

предлагаются методы построения статических и динамических регуляторов по наблюдаемому выходу  $y_t$ , обеспечивающих робастную устойчивость, квадратичную функцию Ляпунова и желаемую оценку интегрального критерия качества [1]:

$$J = \sup_{0 < \|w\|_P^2 + x_0^T X_0 x_0 < \infty} \frac{\|z\|_Q}{\sqrt{\|w\|_P^2 + x_0^T X_0 x_0}} < \gamma,\tag{4}$$

где:  $\|z\|_Q$  и  $\|w\|_P$  – обобщённые  $l_2$ -нормы соответствующих векторов управляемого выхода  $z_t$  и внешних возмущений  $w_t$ ,  $P, Q, X_0$  – весовые положительно определённые матрицы. Значение  $J$  при заданном управлении  $u_t$  характеризует взвешенный уровень подавления внешних и начальных возмущений в системе (3).

Обобщенная задача  $H_\infty$ -оптимизации системы (3) состоит в построении закона управления, минимизирующего критерий качества (4). При использовании статических регуляторов по состоянию или динамических регуляторов полного порядка задача сводится к решению системы ЛМН.

Предлагаемые методы решения указанных задач имеют большие возможности для обобщений. В частности, при определенных ограничениях они могут быть распространены на класс нелинейных систем вида (3) с непрерывными матричными функциями  $A(x)$ ,  $B_1(x)$ ,  $C_1(x)$  и  $D_{11}(x)$ , а также на класс дескрипторных дискретных систем управления.

### Литература

2. Мазко А. Г. Робастная устойчивость и стабилизация динамических систем. Методы матричных и конусных неравенств. Праці Інституту математики НАН України. Київ. 2016. Т. 102. 332 с.
3. Мазко А. Г., Богданович Л. В. Робастная стабилизация и оценка функционала качества нелинейных дискретных систем управления. Проблемы управления информатики. 2013. № 3. С. 92—101.
4. Мазко А. Г. Робастная устойчивость и оценка функционала качества нелинейных систем управления. Автоматика и телемеханика. 2015. № 2. С. 73—88.

**Павлов О. А.**, доктор технічних наук, професор,  
Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Місюра О. Б.**, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,  
Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Мельников О. В.**, кандидат технічних наук,  
Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

## СУМАРНЕ ЗВАЖЕНЕ ЗАПІЗНЮВАННЯ НА ОДНОМУ ПРИЛАДІ: ЕВРИСТИЧНИЙ АЛГОРИТМ НА ОСНОВІ ПДС-АЛГОРИТМУ

**Анотація.** Розглядається NP-трудна в сильному розумінні задача комбінаторної оптимізації за критерієм мінімізації сумарного зваженого запізнення, яка входить до складу математичного забезпечення четвертого рівня чотирирівневої моделі планування (включаючи оперативне) і прийняття рішень. На основі дослідження властивостей раніше розробленого ПДС-алгоритму розв'язання задачі і трудомісткості окремих його процедур створено новий евристичний алгоритм, який дозволяє розв'язувати задачі реальної практичної розмірності. Досліджено його ефективність.

**Ключові слова:** зважене запізнення, один прилад, ПДС-алгоритм, евристика.

**Постановка проблеми.** Задана множина незалежних завдань  $J = \{j_1, j_2, \dots, j_n\}$ , кожне з яких складається з однієї операції. Для кожного завдання  $j$  відомі тривалість виконання  $l_j > 0$ , ваговий коефіцієнт  $\omega_j > 0$  і директивний строк виконання  $d_j \geq 0$ . Завдання надходять в систему одночасно в момент часу  $r_j = 0, j = \overline{1, n}$ . Переривання не допускаються. Необхідно побудувати розклад виконання завдань для одного приладу, який мінімізує сумарне зважене запізнення при виконанні завдань:

$$f = \sum_{j=1}^n \omega_j \max(0, C_j - d_j), \quad (1)$$

де:  $C_j$  – момент завершення виконання завдання  $j$ .

Дана задача входить до складу математичного забезпечення четвертого рівня чотирирівневої моделі планування (включаючи оперативне) і прийняття рішень [1], на якому здійснюється оперативне коректування плану виробництва, побудованого на третьому рівні моделі, в разі зривів в процесі його виконання.

В [2] наведено ПДС-алгоритм вирішення даної задачі, який включає поліноміальну складову і точний експоненційний підалгоритм. ПДС-алгоритм буде оптимальний розклад для задач розмірності до 1000 завдань, а практичні задачі можуть включати десятки тисяч завдань. Таким чином, актуальним залишається створення евристичних алгоритмів для розв'язання задач практичної розмірності.

Розглянемо властивості розробленого раніше ПДС-алгоритму. ПДС-алгоритм складається з ряду однотипних ітерацій. На кожній ітерації визначається можливість використання резервів часу ( $d_j - C_j > 0$ ) попередніх завдань черговим конкуруючим запізненим завданням послідовності  $\sigma^{\text{вн}}$  ( $\sigma^{\text{вн}}$  – послідовність, впорядкована за пріоритетами завдань  $\omega_j/l_j$ , в якій виконані перестановки незапізнених завдань на більш пізні позиції в разі, якщо на інтервалі перестановки є запізнені завдання) і будується оптимальний розклад для завдань даної підпослідовності. На кожній ітерації значення функціоналу зменшується або залишається незмінним, що дозволяє на основі ПДС-алгоритму будувати наближені або евристичні алгоритми. В результаті виконання ітерацій оптимізації будується оптимальна послідовність на всій множині завдань. ПДС-алгоритм включає наступні основні процедури:

1. Визначення інтервалу вбудовування для чергового запізненого завдання поточної послідовності (позиції  $p$ , на якій запізнювання завдання буде мінімальним).

2. Аналіз резервів на інтервалі  $\overline{1, p-1}$  для поточного запізненого завдання (розширення інтервалу вбудовування).

3. Покрокова оптимізація (зменшення запізнення чергового завдання) за рахунок використання існуючих резервів на розширеному інтервалі вбудовування.

4. Оптимізація запізнених завдань за рахунок резервів, звільнених завданнями, що раніше їх використовували (поміченими завданнями), перестановкою їх на більш пізні позиції.

Процедура 4 виконується в разі, якщо в результаті виконання процедури 3 завдання залишається запізненим. Процедура 4 включає рекурсивний виклик процедур 1–4 для підпослідовності завдань на інтервалі перестановки поміченого завдання. При цьому для позначеного завдання в свою чергу шукається інше помічене завдання, яке може бути вбудовано після нього, що призведе до зменшення значення функціоналу. У цьому випадку здійснюється перебір помічених завдань з подальшою оптимізацією підпослідовності, що може бути пов'язано з експоненціальною трудомісткістю. Процедури 1–3 мають поліноміальну трудомісткість.

Розроблено евристично обґрунтовані модифікації процедури 4, які дозволяють проводити скорочений спрямований перебір помічених завдань, що призводить до отримання найбільш ефективного розв'язку за показником якості.

Трудомісткий перебір варіантів використання резервів конкуруючими завданнями також може виникнути, якщо для підпослідовності  $K$  конкуруючих завдань виконується:

$$\forall i < g, j_{[i]}, j_{[g]} \in K, l_{j_{[i]}} - l_{j_{[g]}} \leq \Delta_1, d_{j_{[i]}} - d_{j_{[g]}} \geq \Delta_2, \frac{\omega_{j_{[i]}}}{l_{j_{[i]}}} - \frac{\omega_{j_{[g]}}}{l_{j_{[g]}}} \geq \Delta_3, \quad (2)$$

де:  $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3$  – незначні величини, причому резерви такі, що ітерації оптимізації виконуються для кожного конкуруючого завдання.

При виконанні умови (2) для підпослідовності  $K$  конкуруючих завдань послідовності  $\sigma^{\text{вп}}$  задається поліноміальне обмеження на число виконуваних операцій по оптимізації даної підмножини завдань, значення функціоналу визначається на останній закінченій ітерації і здійснюється перехід на конкуруюче завдання, наступне після підпослідовності  $K$ . Дана евристика ефективна, оскільки при виконанні умови (2) значення функціоналу на кожній ітерації зменшується незначно. Таким чином, може бути досягнуте значне скорочення числа виконуваних ітерацій.

Статистичні дослідження розробленого евристичного алгоритму показали його високу ефективність. Відхилення показника якості отриманих розкладів знаходиться в межах 8–10% від отриманих точним ПДС-алгоритмом.

## Література

1. Згуровский М. З., Павлов А. А., Мисюра Е. Б., Мельников О. В., Лисецкий Т. Н. Методология построения четырехуровневой модели планирования, принятия решений и оперативного планирования в сетевых системах с ограниченными ресурсами. Вісник НТУУ “КПІ”. Серія «Інформатика, управління та обчислювальна техніка». Київ. ВЕК+. 2014. № 61. С. 60–84.

2. Павлов О. А., Мисюра О. Б., Шевченко К. Ю. Побудова ПДС-алгоритму розв'язання задачі мінімізації сумарного зваженого запізнення виконання робіт на одному приладі. Вісник НТУУ “КПІ”. Серія «Інформатика, управління та обчислювальна техніка». Київ. ВЕК+. 2012. № 56. С. 58–70.

Куценко А. С., доктор технических наук, профессор,  
 Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»  
 Товажнянский В. И., аспирант,  
 Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»

## ИНВЕРТИРОВАНИЕ ЛИНЕЙНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ ПОЛИНОМИАЛЬНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

**Аннотация.** Предложены метод и алгоритм обращения линейных динамических систем в пространстве полиномиальных входных и выходных сигналов. Решение задачи обращения сведено к решению матричного уравнения Сильвестра и линейной системы алгебраических уравнений. Предложен метод анализа робастности полученных результатов для конкретных объектов управления.

**Ключевые слова:** обращение линейных динамических систем, полиномиальные сигналы, матричное уравнение.

**Введение.** При синтезе комбинированных систем управления с прогнозирующими моделями в канале управления по возмущению основной задачей является нахождение управляющего воздействия, компенсирующего измеряемые возмущения и реализующего заданный закон изменения вектора выхода.

Одним из эффективных методов решения сформулированной выше задачи, является метод обратных операторов [1]. Принципиальной особенностью метода является поиск решения на основе построения оператора, на вход которого подается требуемая функция выхода объекта управления, а на выходе формируется соответствующая управляющая функция времени. При реализации метода обратных операторов [1] возникает множество проблем, среди которых следует особо выделить проблемы устойчивости, физической реализуемости, грубости и корректности обратных операторов. Перечисленные проблемы не позволяют в общем случае найти практически реализуемое точное решение задачи нахождения обратного оператора в задаче управления.

В то же время, на практике, могут иметь место неопределенности как в математической модели объекта управления так и в моделях задающих и возмущающих воздействий. Это позволяет ограничиться рассмотрением приближенных постановок задач управления и инвертирования в комбинированных системах в контексте наличия контура управления по отклонению, сглаживающего ошибки канала управления по возмущению.

**Целью работы** является обоснование упрощенного метода и разработка эффективного алгоритма решения задачи инвертирования линейной динамической системы при полиномиальной аппроксимации сигналов на входах и на выходе объекта управления.

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

- предложено матричное представление многомерных полиномиальных сигналов;
- обосновано представление дифференциальных уравнений состояния динамической системы в виде линейного преобразования в пространстве прямоугольных матриц;
- получены аналитические соотношения, позволяющие решить задачу инвертирования путем решения системы линейных алгебраических уравнений.

**Метод решения.** Пусть задана управляемая линейная устойчивая динамическая система

$$\begin{aligned} \dot{x} &= Ax + Bu, \quad x \in R^n, \quad u \in R^m, \\ y &= Cx, \quad y \in R^s. \end{aligned} \quad (1)$$

Необходимо найти закон управления  $u(t)$ , реализующий заданную функцию выхода  $y(t)$ . Поскольку система (1) предполагается устойчивой, будем рассматривать только вынужденную составляющую динамического процесса в предположении достаточно длительного интервала управления. Будем также предполагать, что размерности векторов входа и выхода совпадают



Представим все векторные функции  $y(t)$ ,  $x(t)$ ,  $u(t)$  в виде полиномов степени  $l$ :

$$y(t) = YT, \quad x(t) = XT, \quad u(t) = UT, \quad (2)$$

где:  $T = \left(1, t, \frac{t^2}{2!}, \dots, \frac{t^l}{l!}\right)^T$  –  $(l+1)$ - мерный вектор а  $Y, X, U$  – прямоугольные матрицы,

соответствующих размерностей, элементы которых – коэффициенты полиномов, аппроксимирующих изменение переменных в (1).

После подстановки (2) в (1) получим систему матричных линейных уравнений:

$$\begin{aligned} X\Lambda - AX &= BU, \\ Y &= CX, \end{aligned} \quad (3)$$

где:  $\Lambda$  –  $(l+1) \times (l+1)$  матрица преобразования коэффициентов многочлена  $l$ -го порядка при его дифференцировании:

$$\lambda_{ij} = \delta_{i,j+1}, \quad i, j = \overline{1, l+1}.$$

Первое из уравнений (3) представляет собой матричное уравнение Сильвестра и его решение относительно матрицы  $X$  имеет вид:

$$X = -\sum_{k=1}^{l+1} A^{-k} B U A^{k-1}. \quad (4)$$

Подставляя (4) в (3) получим матричное линейное уравнение:

$$-C \sum_{k=1}^{l+1} A^{-k} B U A^{k-1} = Y, \quad (5)$$

решение которого относительно матрицы  $U$  может быть получено путем векторизации матриц  $U$  и построений на основе кронекеровского произведения матриц. Соответствующая алгебраическая система линейных уравнений будет иметь вид:

$$-\left(\sum_{k=1}^{l+1} C A^{-k} B \otimes (A^{k-1})^T\right) \text{vec} U = \text{vec} Y, \quad (6)$$

где:  $\text{vec} U$  и  $\text{vec} Y$  – векторы-столбцы, составленные из транспонированных строк матриц  $U$  и  $Y$ . Отметим, что соотношение (5) представляет собой решение прямой задачи управления: определение матрицы выхода  $Y$  по заданному воздействию  $U$ .

Соответствующее программное обеспечение включает аппроксимацию функции выхода  $y(t)$  полиномом заданного порядка или ее сплайн-аппроксимацию, формирование и решение системы уравнений (6), а также определение числа обусловленности матрицы системы линейных уравнений (6), что позволяет сделать заключение о возможности применения предложенного метода для конкретного объекта управления.

**Выводы.** Предложенный подход к решению задачи инвертирования линейных динамических систем в классе полиномиальных сигналов позволил представить динамические процессы как статические линейные преобразования в пространстве прямоугольных матриц.

Это позволило получить достаточно простые и эффективные алгоритмы решения задачи инверсии, а также оценить робастность результатов для конкретных задач синтеза систем управления.

### Литература

1. Ильин А. В., Коровин С. К., Фомичев В. В. Методы робастного обращения динамических систем. Москва. ФИЗМАТЛИТ. 2009. 219 с.

**Панкратова Н. Д.**, доктор технических наук, профессор,  
Национальный технический университет Украины  
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»  
**Панкратов В. А.**,  
Национальный технический университет Украины  
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

## СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ РАЗВИТИЯ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

**Аннотация.** Приводится системный подход к развитию социально-экономических систем на основе математического обеспечения методологий предвидения с целью создания альтернатив сценариев и когнитивного моделирования для построения сценариев развития желаемого будущего и путей их реализации. Предлагается использовать указанные методологии совместно: на первом этапе применять методологию предвидения и полученные результаты использовать на втором этапе в качестве исходных данных для когнитивного моделирования, что позволяет на основании знания и опыта построить причинно-следственные связи, понять и проанализировать поведение сложной системы на стратегическую перспективу при большом количестве взаимосвязей и взаимозависимостей и предложить научнообоснованную стратегию реализации приоритетного сценария.

**Ключевые слова:** предвидение, альтернативы сценариев, когнитивное моделирование, устойчивость, сценарии, стратегия.

Разработка стратегии инновационного развития социально экономических систем (СЭС) относится к классу слабоструктурированных задач, в которых цели, структура и условия известны лишь частично и характеризуются большим объемом НЕ-факторов: неточностью, неполнотой, неопределенностью, нечеткостью данных, описывающих объект. В отличие от задач принятия решений с количественными значениями переменных и отношений между ними, которые решаются методами и средствами теории исследования операций, эконометрики и другими подобными методами, для решения слабоструктурированных задач необходимы специфические методы поддержки принятия решений.

Учитывая современные тенденции трансформации производственного фактора, каждая крупная компания, отрасль промышленности или страна в мире не только может, но и должна развивать методологию предвидения как фундаментальный инструмент разработки собственной политики и стратегии в условиях значительных изменений, новых вызовов и больших рисков, которые несет человечеству будущее [1]. Многофакторная, многопараметрическая, разнородная и слабоструктурированная информация предметной области объекта исследования, используемая на разных этапах процесса предвидения, приводит к сложностям, связанным с форматом представления знаний, построением опросных форм, обработкой результатов и согласованным управлением процессом предвидения в целом. Неформализованные, неоднородные и слабо структурированные данные из предметной области нуждаются в едином структурном языке описания и едином формате представления.

Решение таких проблем возможно лишь с применением системного подхода, когда учитывают всю совокупность свойств и характеристик исследуемых систем, как и особенностей методов и процедур, использованных для их создания. На основании сравнения характеристик методов качественного анализа, требований к их применению, недостатков и преимуществ каждого из них исследователи проблем предвидения должны выбрать оптимальную комбинацию методов, установить правильную последовательность их использования с учетом всей совокупности требований к исследуемым системам и особенностям решаемых задач. Приводится методологическое и математическое обеспечение системного подхода к решению проблем развития социально-экономических систем в виде двухэтапной модели на основе объединения методологий предвидения и когнитивного моделирования. Привлечение на первом уровне этапа предвидения методов сканирования, STEEP анализа, мозгового штурма, SWOT анализа позволяет с помощью экспертного

оценивания выявить критические технологии в экономических, социальных, экологических, технических, технологических, информационных и других направлениях. Основу данного уровня составляют подсистемы анализа, которые прямыми и обратными связями связаны с системой мониторинга и натурными испытаниями. Полученные после анализа и обработки количественные данные являются исходными для решения комплекса задач предвидения. На втором уровне с применением методов качественного (морфологического анализа, Делфи, анализа иерархий (МАИ) и его модификации, перекрестного анализа, и др.) решаются задачи оценки поведения СЭС и подготовки к принятию решений в виде альтернатив сценариев.

Для обоснованной реализации той или иной альтернативы сценария на втором этапе предлагаемой модели привлекается методология когнитивного моделирования, которая позволяет на основании знания и опыта построить причинно-следственные связи, понять и проанализировать поведение сложной системы на стратегическую перспективу при большом количестве взаимосвязей и взаимозависимостей и предложить научно обоснованную стратегию реализации приоритетного сценария [2]. Привлекая основной принцип системного анализа - декомпозицию, сложная проблема сводится к формализованному уровню, выполняется процесс когнитивного моделирования, который реализуется в интерактивно-диалоговом режиме.

Когнитивное моделирование реализуется в виде решения взаимосвязанных проблем: построение когнитивной модели (карты), обоснование на каждом этапе моделирования устойчивости по значению и по возмущению, структурной устойчивости, учет многофакторных рисков, неопределенности различной природы, разработка сценария развития желаемого будущего [3]. Таким образом, технология когнитивного моделирования заключается в том, чтобы на основе когнитивных моделей определять возможные и оптимальные пути управления ситуацией с целью перехода от исходных состояний к желаемым.

На основании разработанного системного подхода к решению задач развития СЭС выполнено построение сценариев развития ряда СЭС. Одной из таких СЭС является военно-промышленный комплекс (ВПК) Украины, для которого необходимо было выявить приоритетные отрасли и технологии в условиях, обеспечивающих оборонную способность страны. Проведение когнитивного моделирования позволило построить сценарий, в рамках которого показано, что для достижения устойчивости в развитии ВПК необходимо, прежде всего, активизировать внутренние реформы, и сделать так, чтобы они шли «сверху», донося до уполномоченных лиц факт критической необходимости структурных изменений в отрасли и обновления оборудования; обратить внимание на подготовку управленцев нового типа. К тому же для замедления утечки мощного научно-технического потенциала отрасли и страны необходимо создавать комфортные рабочие места в отрасли, установить конкурентоспособные заработные платы, возможно, ввести дополнительные льготы или субсидии за особые достижения контингента ВПК. После достижения стабильности системы ВПК Украины для ее поддержки необходимо продолжить процесс обновления производственной базы и инфраструктуры и налаживать внутренние и внешние пути сбыта продукции ВПК с целью повышения объемов производства. Итак, уровень развития ВПК используется в некотором смысле уже не для ведения боевых действий, а для влияния на международной арене. То есть чем лучше ВПК страны, тем меньше вероятность того, что кто-то будет доминировать над ней.

Предлагаемые решения позволяют сократить финансовые расходы, предложить рациональные обоснованные сценарии для принятия решения на уровне крупных компаний, регионов, государства в целом.

### Литература

1. Згуровский М. З., Панкратова Н. Д. Системный анализ: проблемы, методология, приложения. Киев. Наукова думка. 2011. 743 с.
2. Горелова Г. В., Панкратова Н. Д. Инновационное развитие социо-экономических систем на основе методологий предвидения и когнитивного моделирования. Наукова думка. 2015. 464 с.
3. Pankratov V. The creation of strategy for innovation development of socio-economic systems. Information technologies&knowledge. ITHEA. SOFIA. 2014. Vol. 3. №1. 84-99.

## ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ИГРОВОЙ ЗАДАЧИ РЫНКА С ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНОЙ ФУНКЦИЕЙ ЦЕНЫ

**Аннотация.** Для математической модели рынка Курно с экспоненциальной функцией цены предложено численное решение задачи определения множества ситуаций, равновесных по Нэшу и оптимальных по Парето.

**Ключевые слова:** равновесие Нэша, оптимальность по Парето, игровая модель рынка Курно, численное решение нелинейных уравнений.

В работе рассматривается игровая модель рынка Курно в условиях дуополии с функциями выигрышей первого и второго игроков соответственно:

$$f_1(x, y) = (\varphi(x, y) - c)x \text{ и } f_2(x, y) = (\varphi(x, y) - c)y,$$

где:  $\varphi(x, y)$  – цена единицы продукции на рынке,  $x$  – количество единиц продукции, произведенной и реализованной на рынке первым игроком,  $y$  – количество единиц продукции, произведенной и реализованной на рынке вторым игроком,  $c$  – затраты на производство единицы продукции,  $f_1(x, y)$  – прибыль первого игрока,  $f_2(x, y)$  – прибыль второго игрока.

Обычно в качестве решения игровой задачи рынка рассматривают ситуацию, равновесную по Нэшу для линейной функции цены  $\varphi(x, y) = a - b(x + y)$ .

Целью работы является решение игровой задачи рынка в виде множеств ситуаций  $H_n$  и  $H_p$ , соответственно, равновесных по Нэшу и оптимальных по Парето для экспоненциальной функции цены  $\varphi(x, y) = ae^{-b(x+y)}$ .

Для уменьшения числа параметров, не снижая общность, задачи примем  $c = 1$ . Ситуация  $(x_p, y_p)$  является оптимальной по Парето, если она является единственным решением системы уравнений изолиний функций выигрышей первого и второго игроков:

$$\begin{cases} x(ae^{-b(x+y)} - 1) = p; \\ y(ae^{-b(x+y)} - 1) = q. \end{cases} \quad (1)$$

В работе показано, что единственность решения системы (1) равносильна единственности решения уравнения:

$$x(ae^{-\frac{b(p+q)}{p}x} - 1) = p. \quad (2)$$

Если  $x$  есть единственное решение уравнения (2), то  $x$  является решением уравнения

$$\mu'(x) = \nu'(x), \text{ где } \mu(x) = ae^{-\frac{b(p+q)}{p}x}, \nu(x) = \frac{p}{x} + 1.$$

Таким образом, единственное решение системы (1) должно быть единственным решением системы:

$$\begin{cases} ae^{-\alpha x} = \frac{p}{x} + 1; \\ ae^{-\alpha x} = \frac{p}{\alpha x}; \\ x \geq 0. \end{cases} \quad (3)$$

где:  $\alpha = \frac{b(p+q)}{p}x$ .

Система (3) имеет единственное решение:

$$x = \frac{-\alpha p + \sqrt{\alpha p(\alpha p + 4)}}{2\alpha} = \frac{-b(p+q) + \sqrt{b(p+q)(b(p+q) + 4)}}{2b(p+q)}. \quad (4)$$

Из (2) может быть найдено  $q = \frac{-bp^2x + p^2 - bpx^2}{bx^2 + bpx}$ , подставляя которое в систему (1), получим систему

$$\begin{cases} x(ae^{-b(x+y)} - 1) = p; \\ y(ae^{-b(x+y)} - 1) = \frac{-bp^2x + p^2 - bpx^2}{bx^2 + bpx}. \end{cases} \quad (5)$$

Множество  $N_p$  ситуаций, оптимальных по Парето, определяется как множество всех неотрицательных решений системы (5)  $y = -x + \frac{v}{b}$ , где  $v$  есть решение уравнения:

$$1 - v = \frac{1}{a}e^v. \quad (6)$$

Уравнение (6) имеет единственное решение, которое находится численно.

Ситуация  $(x_n, y_n)$ , равновесная по Нэшу, определяется системой нелинейных уравнений:

$$\begin{cases} 1 - bx = \frac{e^{by}}{a}e^{bx}; \\ 1 - by = \frac{e^{bx}}{a}e^{by}; \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} 1 - u = \frac{1}{a}e^{2u}; \\ x = y = \frac{u}{b}. \end{cases} \quad (7)$$

Первое из уравнений системы (7) имеет единственное решение, которое находится численно.

**Степахно И. В.**, кандидат физико-математических наук, доцент,  
Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины  
**Гнучий Ю. Б.**, доктор физико-математических наук, профессор,  
Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины  
**Дюженкова О. Ю.**, кандидат физико-математических наук, доцент,  
Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины  
**Овчар Р. Ф.**, кандидат физико-математических наук, доцент,  
Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РЕШЕНИЯ ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ С ЦЕЛЬЮ ОПТИМИЗАЦИИ ЗАТРАТ**

**Аннотация.** В работе представлен метод статистического анализа, рассмотрено понятие идентификации математико-статистической модели и рассчитаны коэффициенты влияния параметров модели на определяемые значения маневренных и экономических характеристик судна.

**Ключевые слова:** статистический анализ, вероятность, математическая модель, оптимизация.

**Постановка проблемы.** Разработка статистических методов очень часто требует получения объективной информации для выбора способа прогнозирования ситуации. Ставится задача: показать преимущества использования некоторых вероятностных подходов на практическом примере судовождения при реализации маневра.

**Суть исследования.** Существует масса прикладных задач в жизни общества, в которых без использования построения моделей практически невозможно безошибочно просчитать множество показателей.

Обслуживание речных и морских судов, а также портов является актуальной задачей, для решения которой необходимо применять научный метод математической статистики.

Рассматривая данные статистики по аварийности, становится понятным, что жизненный цикл оборудования имеет определенные временные и пространственные ограничения.

Многомерность экономических и технических показателей каждой эксплуатируемой единицы усложняет интуитивное оценивание ситуации в каждом конкретном случае. Проводить множество испытаний невыгодно, и параметры характеристик поступают с искажениями.

Становится понятным, что применение многомерного статистического анализа в данных условиях позволяет учесть все приведенные выше трудности.

Предлагается провести статистическую обработку большого количества наблюдений с учетом вероятностных ошибок в рамках допущенных ограничений. Для более точной идентификации предлагаемой математико-статистической модели необходимо собрать всю информацию, поступающую в разные моменты жизненных циклов судов, и записать ее в соответствующую матрицу. Эта информация должна учитываться постоянно в процессе эксплуатации судна и использоваться в обновляемой модели для прогнозирования планируемых маневров.

При создании математических (или имитационных) моделей сложных технических, информационных и других систем очень часто конструируется возможность управления (прогнозирования) поведением системы путем влияния на ее основные, «узловые» показатели. Поскольку на практике входные данные подаются с искажениями, имеющими вероятностный характер, то приходится заниматься исследованием оценивания поведения некоторых функций от таких «узловых» характеристик, но уже в следующем построении.

Пусть  $X_i, i = \overline{1, s}$  – независимые наблюдения над случайной матрицей  $A + \Xi$ , где  $A = (a_{ij})$  – вещественная матрица,  $i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}, \Xi = (\xi_{ij})$  – случайная матрица той же размерности.

Обозначим через  $\lambda_k$  сингулярные собственные числа матрицы  $A$ , а через  $\hat{\lambda}_k$  – сингулярные собственные числа матрицы  $A = s^{-1} \cdot \sum_{i=1}^s X_i$ . Очевидно, что если элементы матрицы  $\Xi$  независимы, имеют нулевые средние и дисперсии  $s^{-1}\sigma^2$ , то элементы матрицы  $A$  также независимы и имеют дисперсии  $s^{-2}\sigma^2$ .

Будем считать, что числа  $m, n, \sigma^2$  и  $s$  зависимы и удовлетворяют следующим условиям:

$$\overline{\lim}_{m \rightarrow \infty} \sigma^2 s^{-1} n < \infty, \quad \overline{\lim}_{m \rightarrow \infty} \sigma^2 s^{-1} m < \infty, \quad \overline{\lim}_{m \rightarrow \infty} mn^{-1} < 1, \quad \underline{\lim}_{m \rightarrow \infty} mn^{-1} > 0. \quad (1)$$

Пусть

$$\lambda_k(A) \leq C < \infty, \quad C = const, \quad k = 1, 2, \dots, \quad \lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_m. \quad (2)$$

Выражение  $(-I_z + \hat{A}^T \hat{A})^{-1}$  называется резольвентой матрицы  $\hat{A}^T \hat{A}$ , которая является матрицей Грама. Для нее доказана следующая теорема.

*Теорема.* Пусть выполняются условия (1), (2), причем случайные элементы  $\xi_{ij}$  матрицы  $\Xi$  для каждого  $n$  независимы,  $M \xi_{ij} = 0, D \xi_{ij} = s^{-1} \sigma^2$ . Тогда

$$\text{plim}_{m \rightarrow \infty} m^{-1} s P \left[ (-I_z + \hat{A}^T \hat{A})^{-1} - M(-I_z + \hat{A}^T \hat{A})^{-1} \right] = 0.$$

Доказательство этой теоремы основывается на стандартных формулах возмущений для резольвент матриц [1].

**Выводы.** Если проводить наблюдения  $X_1, X_2, \dots, X_s$  над определенным классом судов, то они отражают большое количество измерений характеристик каждого судна.

В частности, упор винта к силе сопротивления движению, силу продольного сопротивления, угол дрейфа, разгонные, тормозные характеристики судна, скорость ветра, направление ветрового сноса судна, параметры движения и т.д.

Проведя расчеты, устанавливают, какие коэффициенты в большей степени влияют на определенную характеристику судна и каким образом (в сторону увеличения или уменьшения).

Полученные коэффициенты влияния позволяют обеспечить процесс идентификации построенной модели. А это в свою очередь позволяет не только уменьшить материальные затраты, но и оптимизировать качественный прогноз исследуемых процессов.

### Литература

1. Гирко В. Л., Степахно И. В. G-оценка сингулярных собственных чисел матриц. Доклады АН УССР. 1990. №8. Серия А. С. 14—17.

Дмитришин Д. В., доктор технічних наук, професор,  
Одеський національний політехнічний університет  
Скринник І. М., аспірант,  
Одеський національний політехнічний університет  
Франжева Е. Д., магістрант,  
Одеський національний політехнічний університет

## МЕТОДИ ГЕОМЕТРИЧНОГО КОМПЛЕКСНОГО АНАЛІЗУ В ПРОБЛЕМІ ПЕРІОДИЧНИХ ТОЧОК

**Анотація.** Досліджується проблема знаходження періодичних точок. Запропоновано алгоритм конструювання коефіцієнтів напівлінійного узагальнення контролю з зворотнім зв'язком із запізненням. Розглянуті приклади, що підтверджують ефективність алгоритму.

**Ключові слова:** нелінійні динамічні системи, контроль з зворотнім зв'язком із запізненням, цикли, хаос.

Різноманітні проблеми в інженерії, фізиці, біології та в багатьох інших галузях знань зводяться до проблеми фіксованої або періодичної точки. Концепція фіксованої точки найпростіша, але одна з фундаментальних. Потрібні лише поняття множини та відображення.

Наша мета – знайти фіксовані або періодичні точки багатовимірних відображень.

Нехай задано відображення множини  $A$  в себе  $f: A \rightarrow A \subset R^m$ . Фіксованою точкою називається будь-який елемент  $\eta \in A$ , для якого  $f(\eta) = \eta$ . Періодична точка – це узагальнення поняття фіксованої точки. Визначимо орбіту точки  $\eta_0$  як множину  $O(\eta_0) = \{\eta_0, f(\eta_0), f_2(\eta_0), \dots\}$ , де  $f_2(\eta_0) = f(f(\eta_0))$ ,  $f_{T+1}(\eta_0) = f(f_T(\eta_0))$ ,  $T = 2, 3, \dots$ . Якщо  $f(\eta_0) \neq \eta_0$ ,  $f_\tau(\eta_0) \neq \eta_0$ ,  $\tau < T$ ,  $f_T(\eta_0) = \eta_0$ , то  $\eta_0$  називається  $T$ -періодичною точкою відображення  $f$ . Для  $T$ -періодичної точки, множина  $O(\eta_0) = \{\eta_0, f(\eta_0), \dots, f_T(\eta_0)\} = \{\eta_1, \dots, \eta_T\}$  називається періодичною орбітою. Кожна точка  $T$ -періодичної орбіти є періодична точка.

Для визначення фіксованої точки розглядається рекурентна послідовність:

$$x_{n+1} = f(x_n), \quad n = 0, 1, \dots$$

Якщо існує  $\lim_{n \rightarrow \infty} x_n = \eta$  для деякої точки  $x_0$ , то  $\eta$  є фіксована точка. Аналогічно, якщо існує

$\lim_{n \rightarrow \infty} x_{nT+j} = \eta_j$ ,  $j = 1, \dots, T$  та вони попарно відрізняються, то множина  $\{\eta_1, \dots, \eta_T\}$  є цикл довжини  $T$ .

Вважається, що деякі власні значення  $\{\mu_1, \dots, \mu_m\}$  матриці Якобі  $\prod_{j=1}^T f'(\eta_j)$ , які називаються мультиплікаторами, знаходяться поза центрального одиничного кола  $D = \{z \in C: |z| < 1\}$ . Тоді границь рекурентної послідовності для визначення фіксованої або періодичної точки не існує. В цьому випадку застосовується два основних методи знаходження періодичних точок: метод Newton-Raphson та метод AverageDamping. Переваги та недоліки методу Newton-Raphson добре відомі. Метод AverageDamping полягає в конструюванні ітеративної процедури, яку можна контролювати, та яка визначається рекурентним співвідношенням:

$$x_{n+1} = f(x_n, u_n), \quad n = 0, 1, \dots,$$

де: управління  $u_n$  – функція значень вектору рекурентної послідовності, обчислених на попередніх кроках. Це управління  $u_n$  повинно гарантувати збіжність рекурентної послідовності до циклу довжини  $T$ . Таке управління називається стабілізуючим управлінням.

Особливим випадком контролю з AverageDamping є управління зі зворотнім зв'язком із запізненням, тоді рекурентна система має вигляд:



$$x_{n+1} = f(x_n) + u_n, \quad n = 0, 1, \dots$$

Існує різні види управліннь, такі як лінійний [1], узагальнений лінійний [2], нелінійний [3], узагальнений нелінійний [4], напівлінійний [5], узагальнений напівлінійний [6], предикативний [7]. Всі ці управління мають певні недоліки.

Для того, щоб уникнути цих недоліків ми пропонуємо використовувати контроль у вигляді опуклої комбінації узагальнених нелінійного та напівлінійного управління:

$$u_n = -(1-\gamma) \sum_{j=1}^N \varepsilon_j (f(x_{n-jT+T}) - f(x_{n-jT})) - \gamma \sum_{j=1}^N \delta_j (f(x_{n-jT+T}) - x_{n-jT+1}), \quad \gamma \in [0, 1].$$

В цьому випадку рекурентне рівняння має вигляд:

$$x_{n+1} = (1-\gamma) \sum_{j=1}^N a_j f(x_{n-jT+T}) + \gamma \sum_{j=1}^N b_j x_{n-jT+1}.$$

Іноді набагато зручніше використовувати систему:

$$x_{n+1} = (1-\gamma) f\left(\sum_{j=1}^N a_j x_{n-jT+T}\right) + \gamma \sum_{j=1}^N b_j x_{n-jT+1}.$$

Зазначимо, що на циклах довжини  $T$  система з контролем співпадає з системою без контролю. Цикли системи априорі невідомі, як наслідок невідомі і мультиплікатори цих циклів, але вважаємо, що ми знаємо оцінку множини локалізації мультиплікаторів  $M = \{\mu_1, \dots, \mu_m\}$ .

Необхідно знайти невід'ємні коефіцієнти  $a_1, \dots, a_N, b_1, \dots, b_N, \gamma$ , (з умовами нормування  $\sum_{j=1}^N a_j = 1, \sum_{j=1}^N b_j = 1, \gamma \in [0, 1)$ ), щоб  $T$ -цикл системи:

$$x_{n+1} = (1-\gamma) f\left(\sum_{j=1}^N a_j x_{n-jT+T}\right) + \gamma \sum_{j=1}^N b_j x_{n-jT+1}$$

був локально асимптотично стійким. В той же час величина  $N$ , що визначає довжину передісторії, має бути якомога менше.

Використовуючи ідеї E. Landau, L. Bieberbach, L. Feier, T. Suffridge, S. Ruscheweyh, ми сформулювали алгоритм обчислення необхідних коефіцієнтів з урахуванням мінімальної довжини передісторії. Як приклад, ми знайшли цикли довжин від 20 та більше для таких відомих систем, як відображення Lozi, Ikeda, Henon, CubicHolmes, Elhedge-Shprott та ін.

Наші майбутні дослідження пов'язані з оптимізацією алгоритму для знаходження циклів більшої довжини за прийнятний час та застосуванням його в прикладних задачах.

### Література

1. Pyragas K. Continuous control of chaos by self controlling feedback. Phys. Rev. Lett. A 170. 1992. 421-428.
2. Joshua E. S. Socolar, David W. Sukow, and Daniel J. Gauthier Socolar Stabilizing unstable periodic orbits in fast dynamical systems. Phys. Rev. E 50. 1994.
3. Vieira de S. M., A. J. Lichtenberg. Controlling chaos using nonlinear feedback with delay. Phys. Rev. E 54. 1996. 1200-1207.
4. Dmitrishin D., Khamitova A., Stokolos A. On the generalized linear and non-linear DFC in non-linear dynamics. arXiv:1407.6488 [math.DS]. 2014.
5. Morgul O. Further stability results for a generalization of delayed feedback control. Nonlinear Dynamics. 1-8. 2012.
6. Dmitrishin D., Khamitova A., Stokolos A. and Tohaneanu M. Finding cycles in nonlinear autonomous discrete dynamical systems, in preparation.
7. Toshimitsu Ushio, Shigeru Yamamoto. Prediction-based control of chaos. Physics Letters A. Volume 264. Issue 1. 1999. 30-35.

## ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ БУРІННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ПЕРЕДАВАРІЙНИХ СИТУАЦІЙ

**Анотація.** Запропоновано структурну систему для покращення управління процесом буріння нафтових і газових свердловин на основі доповнення системи інтелектуальної підтримки процесів, що дозволяє виявити обвалювання стінок свердловини та попередити порушення стійкості стінок свердловини.

**Ключові слова:** виявлення, прогнозування, обвалювання, свердловина, буріння.

**Постановка проблеми.** Однією з підзадач автоматизованої системи керування процесом буріння нафтових і газових свердловин є прогнозування передаварійної ситуації, викликаній порушенням стійкості стінок свердловини в результаті впливу сукупності факторів (статичні навантаження, нестационарні гідромеханічні процеси тощо), які інколи можуть ускладнюватись фізико-хімічною взаємодією породи на стінках з промивальною рідиною, що вміщує шлам вибуреної породи. Від початку появи порушення стійкості стінок свердловини до створення передаварійної ситуації проходить декілька десятків годин. Тому питання раннього виявлення, попередження та ліквідації аварій при бурінні свердловин на нафту і газ, є надзвичайно складним і таким, що потребує дослідження та вдосконалення.

**Мета роботи** – створення структурної схеми управління процесом буріння та моніторингу на родовищах нафти та газу для раннього виявлення порушень стійкості стінок свердловини в процесі буріння.

Система керування та моніторингу має дворівневу ієрархічну структуру. Нижній рівень представлений системою управління процесом буріння локальних свердловин, а другий – рівень диспетчера промислу. Система реалізована з використання технічних засобів підприємства «МІКРОЛ» (Україна) і має безпроводну систему комунікації між вузлами системи з використанням технології передачі пакетних даних GPRS (Україна) в мобільних мережах стандарту GSM. Таке рішення дозволяє швидко і з мінімальними витратами реалізувати систему моніторингу та керування буровими установками, які розосереджені на значні відстані по території родовища. Сприяє впровадженню цієї технології також наявність повного покриття території України мережами багатьох мобільних операторів.

Система рівня бурової установки має інформаційну підсистему контролю параметрів буріння, вузол управління та аварійної сигналізації і GSM- маршрутизатор. Як керуючий пристрій застосований PLC МІК-51Н (Україна), а аварійна сигналізація реалізована в пристрої технологічної сигналізації УАС-16. Для бездротового зв'язку технічних засобів автоматизації, які знаходяться на буровій площадці, з робочим місцем бурового майстра та вищим рівнем системи використовуються GSM-модеми типу SQUID-1. Даний маршрутизатор може проводити архівування даних на флеш-карти та розсилати SMS повідомлення на мобільні телефони службового персоналу.

Вивід сигналу, що відповідає аварійній ситуації, здійснюється через алгоритм DOT, який активізує дискретний вихід 1 через включення проміжного реле відповідного каналу контролера. Цей дискретний сигнал подається далі на пристрій технологічної сигналізації УАС-16 (рис. 1).

Всі параметри процесу буріння та виходи алгоритмів аварійних ситуацій передаються через GSM-модем на інші пости керування.

Розроблена структурна система забезпечує раннє виявлення порушень стійкості стінок свердловини в процесі буріння. З використанням технології передачі пакетних даних GPRS ця технологія дозволяє впродовж циклу повного розрахунку, який триває від 0,1 с до 1,0 с, реалізувати керувальні дії з боку бурового майстра. Розроблена технологія забезпечує

ідентифікацію передаварійних ситуацій в реальному часі завдяки врахуванню усіх досліджених ознак обвалювань свердловин, які доступні для її вимірювань. Перевагою цієї технології є також те, що передаварійна ситуація може бути виявлена навіть тоді, коли вона викликана різними комбінаціями факторів, які її породжують.

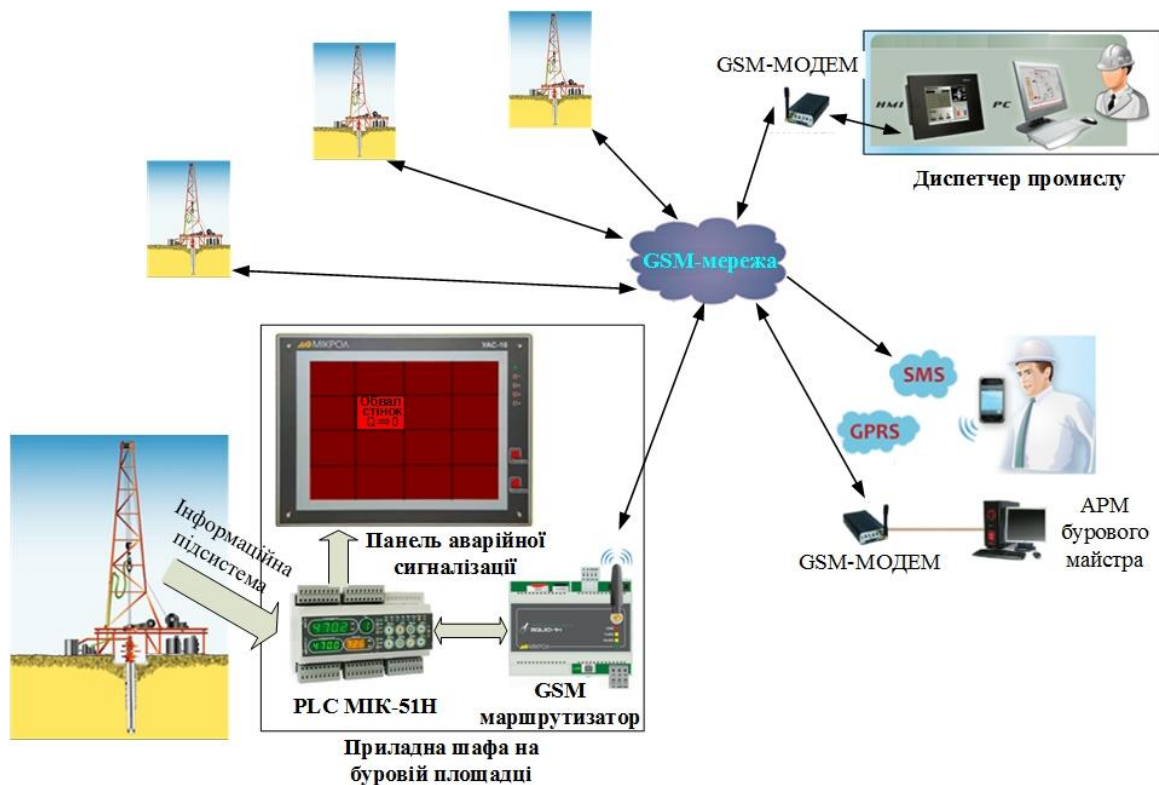


Рисунок 1 – Структура системи управління процесом буріння та моніторингу на родовищах нафти та газу

Результати досліджень можуть бути використані в системах керування процесом буріння та моніторингу на родовищах нафти і газу, де застосовується буріння глибоких свердловин роторним способом, турбобурами і електробурами.

Виконані дослідження підлягають удосконаленню у майбутньому з метою подальшого підвищення ймовірності безвідмовної роботи бурильного інструменту в свердловині за рахунок використання системи інтелектуальної підтримки процесів прийняття рішень щодо запобігання передаварійних ситуацій і ускладнень в процесі поглиблення свердловин.

**Висновки.** Розроблено структуру системи раннього виявлення порушень стійкості стінок свердловини на основі бази знань чітких правил, що дозволяють оперувати з множинами вхідних технологічних параметрів і запобігати аварійних ситуацій. В результаті показано, що її особливостями є висока швидкодія і можливість раннього виявлення обвалювань стінок свердловини в процесі поглиблення.

### Література

1. Горбійчук М. І., Семенцов Г. Н. Оптимізація процесу буріння глибоких свердловин. Івано-Франківськ. Нова Зоря. 2003. 493 с.
2. Драганчук О. Т., Пригоровська Т. О. Аналіз відпрацювання доліт PDC на родовищах України і світу. Нафтогазова енергетика. 2008. №4. С. 11—15.
3. Чигур Л. Я., Долішня Ю. Б. Обґрунтування прийняття рішень про момент логічного завершення рейсу долота PDC. Нафтогазова енергетика. 2009. №4. С. 12—18.

## ІДЕНТИФІКАЦІЯ БАГАТОМІРНОГО ОБ'ЄКТА У ЗАДАЧАХ АСОРТИМЕНТНОГО ВИРОБНИЦТВА

**Анотація.** У роботі розкрито задачу ідентифікації багатомірних технологічних об'єктів для асортиментного виробництва, що обмежена через динамічні характеристики об'єкта для застосування класичних методів ідентифікації. Для визначення параметрів моделі передбачається оцінка відгуку тестових сигналів змінної інтенсивності, де необхідна диференційованість спектру забезпечується різницею у транспортних запізненнях. Для корельованих змінних середовища обумовлено виділення квазілінійних інтервалів.

**Ключові слова:** багатомірний, асортимент, технологічний, ідентифікація, прогнозування, динамічний.

Для об'єктів харчової промисловості задача переробки передбачає комплексний вплив технологічного середовища. Оскільки забезпечення асортиментного виробництва передбачає зміну параметрів технологічного середовища у значних межах, то розв'язок задачі як багатомірної є незаперечним. Оскільки переважна кількість об'єктів передбачає наявність теплових процесів, що обумовлюють наявність сталих часу для отримання відгуку та наявності транспортного запізнення для геометрії потоків впливу фізичного середовища, то розгляд задачі у рамках динамічних об'єктів є обґрунтованим. Із врахуванням вище зазначених обставин, задача визначення параметрів моделі для прогнозування не може бути розв'язана типовими методами ідентифікації [1, 2], як такими, що не здатні забезпечити адекватної оцінки моделі.

Відсутність можливості забезпечення гармонійних сигналів, які дозволяють проводити інтегральну оцінку змін з мінімізацією втрат в об'єкті [3] вимагає розв'язку задачі оцінювання зміни динамічних характеристик об'єкта. Алгоритм відтворення параметрів моделі має передбачати відновлення оцінки параметрів динаміки та статички математичного функціоналу на визначеному часовому горизонті, для забезпечення незміщеного керування. Адекватне прогнозування поведінки об'єкта дозволить забезпечувати керування застосуванням простих, практично використовуваних контролерів параметричного керування.

До розв'язання задачі долучено організаційний рівень, що визначає порядок змінювання режимів в об'єкті, чим встановлює моменти ініціалізації процесу як такі, що передбачають статично стійкий стан процесу до проведення ідентифікації.

Для окремого продукту передбачається цілеспрямована зміна параметрів середовища, відповідно, для руху параметрів середовища  $\langle y_1, y_2, \dots, y_n \rangle$  можна виокремити локальний простір варіацій  $Y$ . Так, якщо передбачити необхідність підтримання співвідношення зміни параметрів середовища, то можна передбачити, що для різних термінів виробництва даного продукту співвідношення параметрів мають залишатися сталими. Серед групи параметрів середовища, частина  $\langle y_{i+1}, y_{i+2}, \dots, y_m \rangle$  має природу що взаємо виключає підтримання вказаної вище відповідності, тобто мають подібний характер, що визначається корельованістю, незалежно від напрямку взаємних відносин. Для вказаних параметрів можна виокремити інтервали змін, де співвідношення зберігає своє стале значення, може бути виділений інтервал лінійності. Всі інші некорельовані параметри приймаються за ортогональні до цільового змінювання групи.

Відмінність взаємозалежних оборотних процесів для вказаних об'єктів визначає подібність їх динамічних параметрів, для яких застосування тестових сигналів ідентифікації не дозволять отримати спектр відгуку такий, що дозволить отримати диференційовану оцінку для міжпараметричних зв'язків об'єкта. В той же час відсутність механічної перебудови агрегатів визначає інваріантність присутніх транспортних запізнень  $\tau_{yi} \neq \tau_{ym}$  від передбачуваних змін в

об'єкті. Дослідження динамічних зв'язків передбачає зміну завдань, що не мають порушувати відносини між параметрами середовища:

$$\Delta x_i \xrightarrow{\lim y_{i\_max}} y_i, \quad (1)$$

що цілком відповідає завданню зміни режимів об'єкта. Оцінка тестових сигналів підтверджує перевагу ступінчастого збурення як такого, що забезпечує спектр необхідний для оцінювання динамічної поведінки в об'єкті зміною інтенсивності тестового сигналу. Оцінка зміни міжпараметричних зв'язків тестовим сигналом визначається для корельованих змінних об'єкта  $\langle x_i, x_{i+1}, \dots, x_k \rangle$ , що залучена до керування. Диференціація сигналів оцінюється як зміна відгуку від серій тестових збурень різної інтенсивності для єдиної змінної. Вплив суміжних зв'язків виключається шляхом здійснення оцінки на інтервалі транспортного запізнення, що проявляє непередбачувану зміну досліджуваної залежності для наперед визначеного лінійного функціоналу.

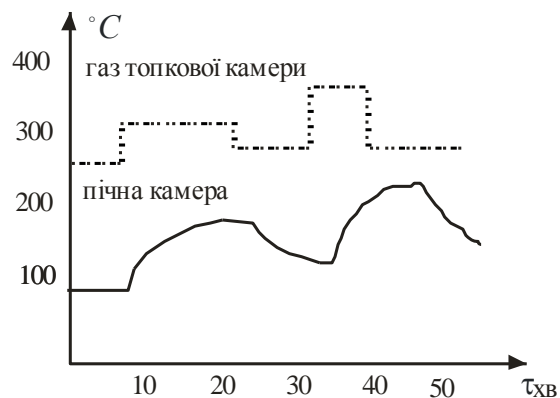


Рисунок 1 – Тестовий сигнал для камери хлібної печі

Алгоритм забезпечує оцінку динаміки для міжпараметричних зв'язків в об'єкті, з точністю, що залежать від диференціації часу транспортного запізнення між джерелами інтенсивностей змінних керування. Теплові об'єкти великої ємності (рис. 1) мають різну природу потоків накопичення та витрат, а тому статична точність ідентифікуємої моделі вимагатиме до визначення додатковим рівнянням, що визначає процеси зовнішнього середовища для об'єкта.

### Література

1. Маркута О. В., Мысак В. Ф. Програмная реализация и исследование особенностей метода группового учета аргументов. Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. 2008. № 1 (21).
2. Губарев В. Ф., Гуммель А. В., Мельничук С. В., Точилин П. А. Идентификация многомерных систем. Проблемы корректности и управления в сборнике. Труды XII Всероссийского совещания по проблемам управления (ВСПУ 2014). Москва. ИПУ РАН. С. 2635—2645
3. Кривенцов Е. Г. Компенсация множества конечных нулей многомерных объектов с равным числом входов и выходов при синтезе модальным методом. Актуальные проблемы электронного приборостроения. Новосибирск. НГТУ. 2008. Т. 7. С. 178—181.

## АНАЛІЗ ДИНАМІЧНИХ РЕЖИМІВ ПРОЦЕСУ ПОГЛИБЛЕННЯ СВЕРДЛОВИН ЯК ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ НА ЗАСАДАХ СИНЕРГЕТИЧНОЇ ТЕОРІЇ ІНФОРМАЦІЇ

**Анотація.** Розглядається застосування апарату синергетичної теорії інформації для оцінювання динамічних режимів поглиблення свердловин на основі аналізу фактичних даних.

**Ключові слова:** динамічна стійкість, синергетична теорія інформації, процес буріння.

**Постановка проблеми.** Процес буріння глибоких нафтових і газових свердловин є невідтворюваним нелінійним стохастично-хаотичним динамічним процесом, що розвивається в часі і функціонує за умов апріорної та поточної невизначеності щодо параметрів і структури об'єкта під впливом недосяжних для вимірювань збурень [1]. Оскільки така система розвивається, вона є завжди відкритою, тобто обмінюється енергією, інформацією та речовиною із зовнішнім середовищем. В неї можуть виникати нові часові, просторові або функціональні структури. Наприклад, структура конструкції колони бурильних труб є фрактальною. Це означає, що попередній фрактал (одна свічка бурильної труби) може існувати без наступної труби, але не навпаки. Тому вирішення проблем управління динамічним процесом поглиблення свердловини потребує глобального енергоінформаційного підходу, який включає розгляд структури формування колони бурильних труб і математичного апарату синергетичної теорії інформації.

**Результати дослідження.** Згідно з теорією синергетичної інформації, інформація  $I_A$ , що характеризує процес буріння свердловини як динамічну систему  $A$ , яка складається із  $m(A)$  елементів, розділяється на відбиту  $I_B$  і невідбиту  $I_H$  складові.

Відбита складова інформації  $I_B$  характеризує структурну упорядкованість усієї системи буріння свердловин і носить назву адитивної негентропії [2]. Невідбита складова інформації  $I_H$  є мірою структурного хаосу і має назву ентропії відбиття. При цьому виконується таке інформаційне співвідношення:

$$I_A = I_B + I_H. \quad (1)$$

Окрім цього:

$$I_A = \log_2 m(A). \quad (2)$$

Вираз (1) показує нерозривний взаємозв'язок комбінаторного, імовірнісного та синергетичного підходів.

Відзначимо, що ця інформаційна особливість процесу буріння нафтових і газових свердловин дозволяє використати так звану  $R$ -функцію як узагальнену характеристику співвідношення порядку і хаосу [2]:

$$R = \frac{I_B}{I_H}, \quad \frac{\text{порядок}}{\text{хаос}}. \quad (3)$$

Загалом, якщо  $R > 1$ , то в динамічній системі буріння переважає порядок, а якщо  $R < 1$  – то хаос.

З метою визначення значень  $I_B$  і  $I_H$  для будь-якої бурової установки як динамічної системи  $A$  з кількістю елементів  $m(A)$  розділимо її на сукупність  $N$  своїх частин:  $B_1, B_2, \dots, B_N$ .

Кожна частина має число елементів  $m(B_1), m(B_2), \dots, m(B_N)$ , сума яких дорівнює:

$$\sum_{i=1}^N m(B_i) = m(A). \quad (4)$$

Число елементів  $N$  визначимо за формулою Стерджесса  $N = 1 + 3.32 \lg m(A)$ .

Використовуючи вищенаведені визначення, формули для адитивної негентропії  $I_B$  і ентропії невідбиття  $I_H$  за допомогою ентропійної міри К. Шеннона набувають наступного вигляду [2, 3]:

$$I_B = -\sum_{i=1}^N \frac{m(B_i)}{m(A)} \log_2 m(B_i), \quad (5)$$

$$I_H = -\sum_{i=1}^N \frac{m(B_i)}{m(A)} \log_2 \frac{m(B_i)}{m(A)}, \quad (6)$$

де:  $m(A)$  – загальна кількість елементів в складі системи  $A$ ;

$m(B_i)$  – кількість елементів в складі  $i$ -го елемента  $B_i$ .

Інформаційно-синергетичні функції (2), (5), (6) дозволяють виділити п'ять режимів функціонування процесу буріння як складної динамічної системи [3]: рівноважний (equilibrium), упорядкований (ordered), упорядковано-хаотичний (sorted-chaotic), хаотично-упорядкований (randomly-ordered), хаотичний (chaotic), які можна описати наступними логічними правилами:

*R1: if  $\sqrt{m(A)} \leq N \leq 0.25m(A)+1$  and  $I_B = I_H$  then equilibrium,*

*R2: if  $N < \sqrt{m(A)}$  and  $I_B > I_H$  then ordered,*

*R3: if  $\sqrt{m(A)} \leq N \leq 0.25m(A)+1$  and  $I_B > I_H$  then sorted – chaotic,*

*R4: if  $\sqrt{m(A)} \leq N \leq 0.25m(A)+1$  and  $I_B < I_H$  then randomly – ordered,*

*R2: if  $N > 0.25m(A)$  and  $I_B > I_H$  then chaotic.*

**Висновок.** Використання апарату синергетичної теорії інформації дозволяє за фактичними експериментальними даними буріння свердловини аналізувати динамічні режими поглиблення свердловин і визначати їхню динамічну стійкість. Динамічну стійкість можна забезпечити поряд з регулюванням параметрів режиму включенням в фрактальна структуру колони бурильних труб наддолотного амортизатора.

### Література

1. Семенов Г. Н., Фадеева О. В. Аналіз і синтез автоматизованих систем управління технологічним процесом буріння нафтових і газових свердловин. *Радіоелектроніка і комп'ютерні системи*. 2007. №5. С. 117—122.
2. Вяткин В. Б. Синергетическая теория информации. Часть 2. Отражение дискретных систем в плоскости признаков их описания. *Научный журнал КубГАУ*. Краснодар. КубГАУ. 2009. №45 (1).
3. Оганов Г. С., Ширин-Заде С. А., Парамонов А. А. Динамический анализ процесса углубления скважин. *Вестник Ассоциации буровых подрядчиков*. 2009. №1. С. 40—44.

Лисенко В. П., доктор технічних наук, професор,  
Національний університет біоресурсів і природокористування України  
Мірошник В. О., кандидат технічних наук, доцент,  
Національний університет біоресурсів і природокористування України  
Лендел Т. І., кандидат технічних наук,  
Національний університет біоресурсів і природокористування України

## АЛГОРИТМ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИМ КОМПЛЕКСОМ ТЕПЛИЦІ

**Анотація.** Завдання автоматичних систем керування прийняття рішень - коли на підставі певного набору критеріїв з безлічі альтернатив вибирається найбільш підходяща для досягнення поставлених цілей. Цілі та критерії можуть бути як постійними, так і змінюватися в процесі виконання завдання. Сучасні системи забезпечення процесу вирощування рослин, як правило, не відстежують їх стани як реакцію на дії природних збурень, що не дає можливості накопичувати знання про рослину, не дозволяє прогнозувати її врожайність. Тому, як наслідок, виникає потреба у розробці методу енергоефективного керування електротехнічним комплексом у теплиці, що враховує особливості біологічної складової об'єкта у процесі свого функціонування для максимізації прибутку.

**Ключові слова:** алгоритм, мікроклімат, керування, теплиці.

За функціонування електротехнічного комплексу відповідає система керування [1].

Пропонується розробити нові алгоритми роботи, де керування електротехнічного комплексу поділено на три ієрархічні рівні.

Ієрархічна структура функціонування електротехнічного комплексу представлена рівнями:

1. Верхній рівень:

- моніторинг параметрів оператором;
- реалізація алгоритмів керування технологічним обладнанням;
- збереження даних з первинних перетворювачів в базу даних.

2. Нижній рівень:

- безпосереднє керування технологічним обладнанням;
- опитування первинних перетворювачів;
- реалізація простих функцій керування;

3. Технологічне обладнання.

Розроблений алгоритм керування вирощуванням якісної продукції у теплиці за допомогою інтелектуального електротехнічного комплексу передбачується, де виконуються наступні дії:

– дослідження впливу середовища на рослини (вимірювання параметрів мікроклімату та стану рослини);

– введення фітотемпературного критерію розвитку рослини [3], за яким температура рослини вирівнюється з температурою повітря;

– аналізується зображення томатів з використанням вейвлет-перетворень, визначається показник якості продукції з використанням нейронної мережі;

– з використанням методу Харрінгтона проводиться розрахунок узагальненого критерію оптимізації, який у безрозмірній формі відображає прибуток від виробництва [4];

– виведення для оператора інформації про показник якості продукції, оскільки низький показник якості можливий через ураження хворобою чи шкідниками і тому потрібне застосування фітосанітарні заходи;

– виконується перевірка показника витрат і якщо показник витрат менше бажаного значення;

– виведення прибутку, показника якості, оптимальних значень параметрів вирощування овочевої продукції [1, 4];



– до поточного часу вирощування додається період вимірювання показників якості вирощування.

**Висновок.** Розроблено алгоритм енергоефективного керування електротехнічним комплексом теплиці для вирощування рослинної продукції, що здатний враховувати значення технологічних параметрів, якість продукції, стани рослин та результати аналізу природних збурень. Зазначене дало змогу максимізувати прибуток виробництва для поточного моменту часу.

### Література

1. Лисенко В. П., Лендел Т. І. Моделі для формування оптимальних стратегій керування у спорудах закритого ґрунту. Вісник аграрної науки. 2015. Вип. 10. С. 45—48. ISSN 2308-9377.
2. Лисенко В. П., Болбот І. М., Мірошник В. О., Лендел Т. І. Температура рослин як параметр для регулювання. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. 2015. Вип. 209 (1). С. 64—72. ISSN 2222-8594.
3. Лисенко В. П., Болбот І. М., Лендел Т. І. Фітотемпературний критерій оцінки розвитку рослини. Енергетика і автоматика. 2013. Вип. 3 (11). С. 22—128. ISSN 2223-0858.
4. Лисенко В. П., Мірошник В. О., Лендел Т. І. Оптимізація вирощування томатів в теплиці з використанням функції бажаності Харрінгтона. Автоматизація технологічних та бізнес-процесів. 2015. Вип. 4. Т. 7. С. 33—39. ISSN 2312-3125.

## ПРОБЛЕМА ІДЕНТИФІКАЦІЇ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ СИНТЕЗУ РОБАСТНО-ОПТИМАЛЬНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ОБ'ЄКТАМИ

**Анотація.** Поставлена проблема ідентифікації математичних моделей для синтезу робастно-оптимальних систем керування, де важливою є оцінка її невизначеності. Для технологічних об'єктів пропонується використати активний або пасивний експеримент на технологічному об'єкті.

**Ключові слова:** математична модель, невизначеності, ідентифікація, технологічні об'єкти.

На сьогодні створення ефективної системи керування неможливо без використання математичної моделі об'єкта. Першочергове місце займає модель технологічного об'єкта (ТО) при синтезі робастних та робастно-оптимальних систем керування. Під першою системою розуміється оптимальна система з робастними властивостями, під другою – система, синтезована за робастним критерієм [1]. При цьому важливим є оцінка невизначеностей, що входять в модель, так як невиправдане звуження області невизначеності може призвести до втрати не лише якості, а й стійкості системи, а її розширення – до значної грубості системи, і як наслідок, гіршої якості в номінальному режимі.

В роботі розглядається побудова лінійної математичної моделі ТО з невизначеностями з орієнтацією на синтез робастно-оптимальної системи керування. Передумовою для цього є апріорний висновок про суттєвість невизначеностей параметрів, структури або зовнішній збурень ТО та обґрунтування доцільності застосування робастного критерію керування.

На сьогодні сформулювалося декілька підходів до ідентифікації математичної моделі об'єкта та розрахунку невизначеностей: аналітично синтезується математична модель об'єкта, а після її лінеаризації розраховуються всі можливі невизначеності параметричного, структурного та ситуаційного типів; задається структура моделі та тип невизначеності, і на основі експерименту в робочому режимі функціонування об'єкта оцінюються її граничні значення; задається структура моделі та на основі статистичних методів ідентифікації розраховуються її параметри, невизначеність яких з відповідною ймовірністю визначається довірчим інтервалом. Кожен підхід має свої переваги, недоліки і область застосування. Зокрема, перший підхід ефективний для електротехнічних та космічних об'єктів, де потрібна висока точність та надійність. Для ТО цей підхід має ряд недоліків: по-перше, більшість моделей мають кінцеву точність розрахунку параметрів; по-друге, математичний опис невизначеностей буде мати складний вираз (на відміну від математичної моделі об'єкта); по-третє, ситуація, при якій виникнуть найгірші комбінації невизначеностей може взагалі не виникнути. Тобто, при оцінці невизначеностей для ТО необхідно орієнтуватися на експериментальні дослідження, що обумовлюють використання другого та третього підходів. При чому в другому випадку отримується модель зі структурними або параметричними інтервальними невизначеностями, а в третьому – з імовірнісними параметричними невизначеностями.

Таким чином, для ТО ідентифікація математичних моделей для синтезу робастно-оптимальних систем керування проводиться шляхом активного або пасивного експерименту на об'єкті. При цьому виникають додаткові труднощі, так як ідентифікується не модель ТО, а системи, у зворотний зв'язок якої входять локальні регулятори.

### Література

1. Луцька Н. М., Ладанюк А. П. Оптимальні та робастні системи керування технологічними об'єктами: монографія. Київ. Видавництво „Ліра-К”. 2015. 288 с.

Піднебесна Г. А.,  
Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій та систем  
Степашко В. С., доктор технічних наук, професор,  
Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій та систем

## ПРО ЗАСТОСУВАННЯ ОНТОЛОГІЧНОГО ПІДХОДУ ДЛЯ РОЗРОБКИ ЗАСОБІВ ІНДУКТИВНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

**Анотація.** Пропонується використання онтологічного підходу для проектування інтелектуальних комп'ютерних систем індуктивного моделювання. Подано результати структуризації знань у галузі індуктивного моделювання, показано та охарактеризовано основні компоненти МГУА. Викладено принципи побудови онтології МГУА та наведено приклади.

**Ключові слова:** індуктивне моделювання, МГУА, онтологія предметної галузі, структуризація знань.

**Вступ.** При розробленні комп'ютерних систем актуальною проблемою є конструювання моделі предметної галузі, зокрема, галузі розв'язання задач моделювання та аналізу даних. Способом вирішення проблеми є використання декларативних описів предметної галузі, зокрема онтологій, що наразі є перспективним підходом до структуривання інформації. Одним з найбільш ефективних методів моделювання в умовах невизначеності є *метод групового урахування аргументів* (МГУА), який уособлює суть індуктивного підходу. Метою цієї роботи є побудова онтології предметної галузі індуктивного моделювання на основі МГУА. Для реалізації поставленої мети необхідним є аналіз наявних підходів та методів моделювання, виявлення основних етапів процесу та їх характеристик [1].

**Застосування онтологій в інтелектуальних системах.** Структура інтелектуальних систем є відображенням певних знань, поданих формально. Застосування онтологій забезпечує наочне представлення структурованих знань та їх оновлення. Онтологія визначається як точна специфікація предметної галузі, яка містить словник термінів галузі та множину зв'язків цих термінів між собою. В задачі моделювання онтологічна модель представлення знань має містити опис задачі (дані, мета) та доцільні рішення щодо її розв'язання (алгоритм побудови адекватної моделі) [2].

**Структуризація предметної галузі індуктивного моделювання.** Індуктивне моделювання за вибірками даних є процесом прийняття рішень у вигляді певної сукупності послідовно виконуваних етапів, кожен з яких має свої параметри, характеристики та області припустимих значень, що дозволяє використовувати онтології для їх опису. Визначено чотири основні компоненти довільного методу моделювання: клас моделей, генератор їх структур, метод оцінки параметрів та критерій якості моделей.

В результаті структуризації галузі визначаються принципи формування алгоритмічних модулів для розв'язання конкретної задачі. В залежності від типу задач вибираються адекватні методи їх розв'язання.

**Онтологічна модель даної предметної галузі.** Для розробки онтології за результатами структуризації знань складається словник понять. Далі виконується ранжування, впорядкування термінів та побудова ієрархій понять, їхні характеристики, допустимі значення, відношення, функції. Характеризуючи кожен з методів моделювання, можна говорити відповідно про онтології класів моделей, генераторів структур, методів оцінювання параметрів, критеріїв селекції моделей. Вони є частинами загальної онтології методів розв'язання задач індуктивного моделювання.

**Висновки.** У доповіді представлено результат структуризації предметної галузі індуктивного моделювання, визначено основні компоненти процесу моделювання та їхні

характеристики, потрібні для побудови онтології. Наведено приклад онтологічних моделей основних компонент МГУА.

Викладений у доповіді підхід спрямований на побудову онтології галузі індуктивного моделювання. Це дає можливість істотного спрощення процесу розробки відповідних програмних засобів та підвищення рівня інтелектуальності існуючих комп'ютерних систем завдяки структуризації знань.

### **Література**

1. Stepashko V., Pidnebesna G. Generalized Multifunctional Modules Concept for Construction of Inductive Modeling Tools. Proc. of the 4th Int. Conf. on Inductive Modelling ICIM-2013. Kyiv, Ukraine. Kyiv. IRTC ITS NASU. 2013. 225-230.
2. Pidnebesna G. A. Ontological Approach to Modeling of the Inductive Modeling Domain. Proc. of 6th Int. Workshop on Inductive Modeling IWIM 2015. Kyiv-Zhukyn. Ukraine. Kyiv. IRTC ITS NASU. 2013. 39-42.

## КОМПЛЕКСНИЙ РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ РОБОТИ ТРИФАЗНОГО СЕПАРАТОРА ЯК АВТОМАТИЗОВАНОЇ ГРУПОВОЇ ЗАМІРНОЇ УСТАНОВКИ В УМОВАХ ЛУКВИНСЬКОГО НАФТОГАЗОВОГО РОДОВИЩА

**Анотація.** Актуальною проблемою на сьогоднішній день є завдання оптимізації технологічних процесів збору та підготовки нафти і газу з метою ефективного використання технологічного обладнання. Тобто йдеться про часткове об'єднання процесу першої ступені сепарації із груповими замірними установками для свердловин що мають низький дебіт, яким і являється Луквинське нафтогазове родовище. Експериментальна модель трифазного сепаратора в якості АГЗУ представлена на рис. 1.

**Ключові слова:** оптимізація, інформаційно-вимірювальна характеристика, передавальна функція.

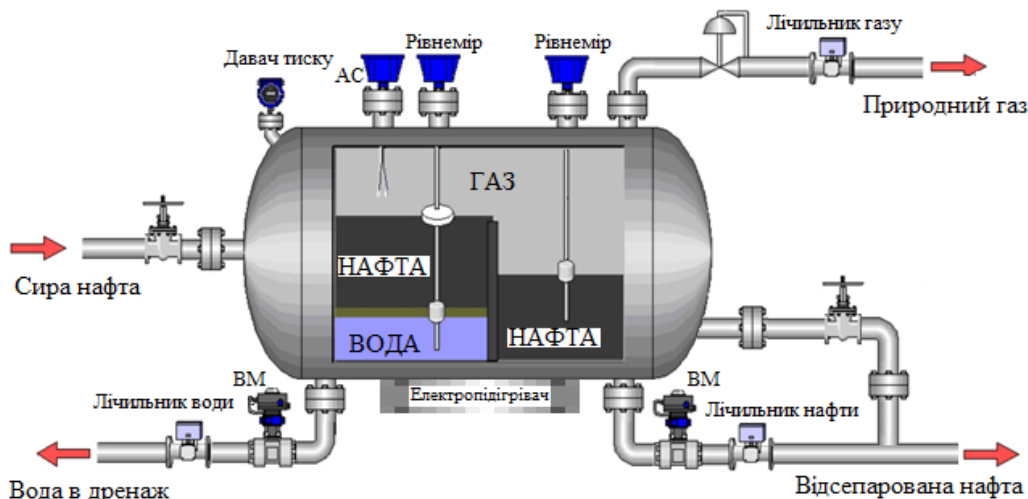


Рисунок 1 – Експериментальна модель трифазного сепаратора

**Основна частина.** Для дослідження використано інформаційно-вимірювальні характеристики Луквинського нафтового родовища, що належить до НГВУ «Надвірна нафтогаз», (ПАТ «Укрнафта»). Для обробки та аналізу даних розрахунок перехідних характеристик проводився в математичній лабораторії MATLAB за допомогою методу фундаментальної матриці, методу матричної передавальної функції та числового методу [1]. В результаті отримано перехідні характеристики керуючого об'єкта для виходу нафти та води із сепаратора. Перехідні характеристики наведені нижче на рис. 2 – рис. 7 у вигляді графіків.

В результаті отримано перехідні характеристики керуючого об'єкта для виходу нафти та води із сепаратора. Перехідні характеристики наведені нижче у вигляді графіків. Всі результати отриманні при значенні зміни вхідної витрати на 25% та сили струму в регуляторі нагрівача на 35%.

Так, як отримана математична модель трифазного сепаратора містила нелінійні залежності між вхідними і вихідними параметрами, була застосована лінеаризація (ідеалізація) математичної моделі. Дослідження математичної моделі проводили аналітичними і числовими методами. В подальшому планується побудувати кореляційні залежності та передавальну функцію об'єкта автоматизації.

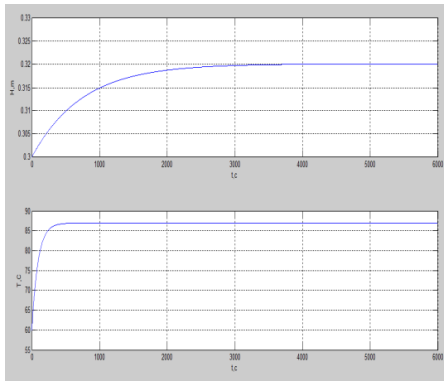


Рисунок 2 – Результат методу фундаментальної матриці, виходу нафти

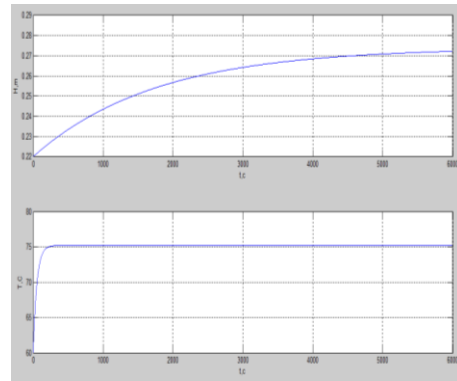


Рисунок 3 – Результат методу фундаментальної матриці для виходу газу

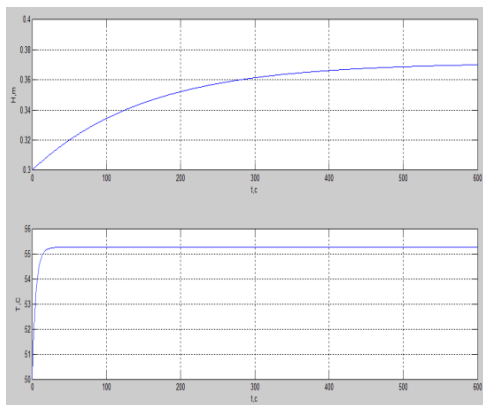


Рисунок 4 – Результат методу фундаментальної матриці, виходу води

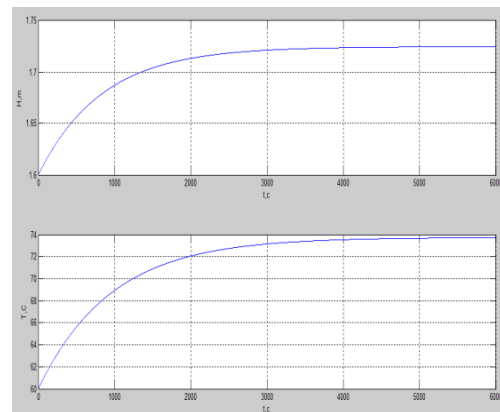


Рисунок 5 – Результат методу матричної передавальної функції для виходу нафти

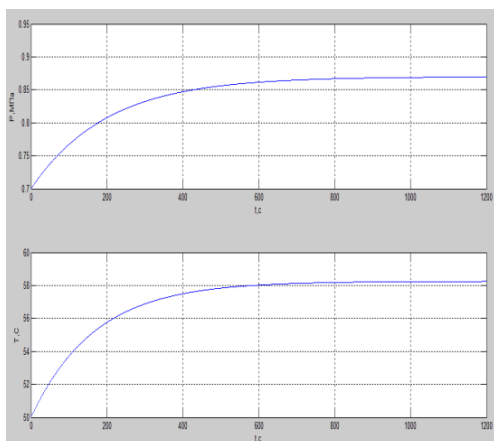


Рисунок 6 – Результат методу матричної передавальної функції для виходу газу

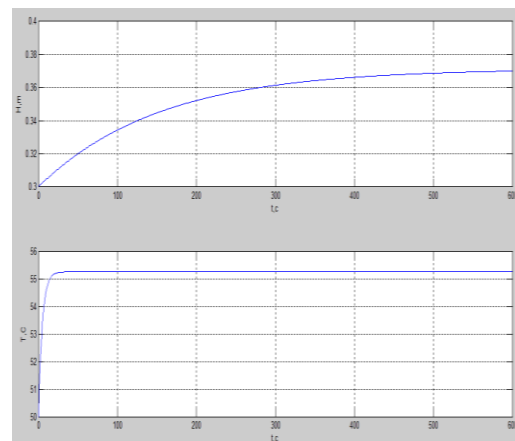


Рисунок 7 – Результат методу матричної передавальної функції для виходу води

**Висновок.** Представлені результати розрахунку параметрів математичної моделі роботи трифазного сепаратора, як автоматичної групової замірної установки для Луквинського нафтогазового родовища закладають основу для подальших досліджень щодо ефективності оптимізації процесів збору та підготовки нафти в умовах невизначеності. Зокрема доцільність проведення заміщення АГЗУ на блочні сепараційні установки першого ступеня очистки.

### Література

1. Горбійчук М. І. Моделювання об'єктів і систем керування в нафтовій та газовій промисловості. Частина II. Івано-Франківськ. Факел. 1999. 226 с.

## ПРОБЛЕМА ПОБУДОВИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ОБ'ЄКТІВ УПРАВЛІННЯ

**Анотація.** У доповіді досліджується проблема побудови сучасних інтелектуальних технологій структурно-параметричної ідентифікації моделей об'єктів і процесів як невід'ємної складової систем управління. В результаті порівняльного аналізу найбільш поширених методів і засобів штучного інтелекту та особливостей функціонування систем управління запропоновано доцільні підходи до інтелектуалізації процесу ідентифікації моделей як в автономному режимі, так і в реальному часі.

**Ключові слова:** управління, ідентифікація, інтелектуальна система, база знань, моделювання.

**Вступ.** В сучасній науковій літературі та у назвах підходів, методів, засобів і технологій одними з найбільш широко вживаних є слова «інтелект» та «інтелектуальний», хоча в багатьох випадках їх використання є проблематичним і не надто виправданим. Це стосується також і термінів «інтелектуальне управління» та «інтелектуальне моделювання». Показовим прикладом є поширений нині довільний переклад англійського терміну DataMining як «інтелектуальний аналіз даних».

**Метою** цієї доповіді є спроба проаналізувати зміст найбільш поширених термінів у сфері штучного інтелекту, порівняти методи і засоби, що застосовуються в цій сфері, та запропонувати методологічні підходи до інтелектуалізації процесу ідентифікації моделей об'єктів управління як автономно (за фіксованою вибіркою даних спостережень), так і в режимі поточного надходження нових даних.

**Аналіз релевантних галузей штучного інтелекту.** Виконано аналіз методів і засобів таких галузей, як інтелектуальний аналіз даних, обчислювальний інтелект, машинне навчання, м'які обчислення тощо, які знаходять застосування в задачах ідентифікації моделей об'єктів управління. Сформульовано задачу структурно-параметричної ідентифікації моделей об'єктів управління, описано особливості всіх етапів загального процесу побудови моделей в умовах невизначеності та охарактеризовано роль вказаних методів і засобів у розв'язанні таких задач моделювання. Зроблено наголос на тому, що саме по собі використання так званих інтелектуальних засобів на зразок нейромереж чи генетичних алгоритмів не є достатнім для того, щоб вважати побудовану прикладну систему інтелектуальною.

**Моделювання як основа інтелектуальних систем.** Однією з найважливіших функціональних характеристик інтелектуальних систем є здатність до моделювання змін у поведінці об'єктів та їхнього середовища функціонування з метою розпізнавання і прогнозування ситуацій, раціонального управління та прийняття доцільних рішень. Виконано аналіз різновидів математичного моделювання, включаючи структурно-параметричну ідентифікацію об'єктів управління. Показано як відмінність, так і взаємну доповнюваність двох основних підходів до моделювання об'єктів: теоретичного (theory-driven) та емпіричного (data-driven), або дедуктивного (від теорії до моделі) та індуктивного (від даних до моделі).

**Концепція інтелектуального моделювання.** Сучасні публікації за темою «інтелектуальне моделювання» виправдовують застосування цього терміну просто використанням нейромереж та інших засобів обчислювального інтелекту. На відміну від цього, в [1] обґрунтовується більш повна концепція моделювання складних систем на основі структуризації знань про всі етапи процесу побудови моделей. Вона передбачає наявність у складі відповідної системи, крім вказаних інтелектуальних засобів, також поповнюваної бази знань про ефективні чи доцільні рішення, прийняті в тих чи інших ситуаціях, а також спеціальних засобів інтелектуального інтерфейсу. Дається характеристика особливостей двох рівнів такого моделювання: *автономна* (за вибіркою даних) та *вбудована* (за поточними даними) ідентифікація.

**Висновки.** У доповіді виконано аналіз змісту найбільш поширених термінів у сфері штучного інтелекту, порівняння методів і засобів, що застосовуються в основних галузях цієї сфери, та показано їх певне підпорядкування. Розглянуто проблематику математичного моделювання як невід’ємної функціональної характеристики інтелектуальних систем, та обговорено концепцію побудови технологій інтелектуального моделювання (тобто ідентифікації моделей) об’єктів управління.

#### **Література**

1. Степашко В. С. Концептуальные основы интеллектуального моделирования. УСиМ. 2016. № 4. С. 3—15.



Чекурін В. Ф., доктор фізико-математичних наук, професор,  
 Інститут прикладних проблем механіки і математики імені Я. С. Підстригача  
 Химко О. М., кандидат технічних наук, доцент,  
 Національний університет «Львівська політехніка»

## МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ, МЕТОДИ ТА АЛГОРИТМИ ВИЯВЛЕННЯ ТА ІДЕНТИФІКАЦІЇ ВИТОКІВ У МАГІСТРАЛЬНИХ ГАЗОПРОВОДАХ

**Анотація.** В рамках моделі газової динаміки сформульовані прямі та обернені задачі виявлення та ідентифікації витоків у магістральних газопроводах. Розроблено алгоритми для їхнього розв'язування. Запропоновано модель структури системи для ідентифікації витоків.

**Ключові слова:** газова динаміка, прямі й обернені задачі, ітераційні алгоритми, ідентифікація.

Своєчасне виявлення витоків, достовірна оцінка їхньої інтенсивності та встановлення місць виникнення дозволяють мінімізувати економічні й екологічні наслідки неконтрольованої розгерметизації трубопроводів. Тому проблема розроблення і впровадження ефективних систем виявлення витоків, працездатних як за стаціонарних, так і нестационарних режимів транспортування, є актуальною.

Витоки транспортованих флюїдів із магістральних трубопроводів (МГ) можуть спричинити: а) наскрізні дефекти тіла труби, які виникають внаслідок корозійних процесів, порушення технології спорудження та експлуатації трубопроводів, б) порушення суцільності чи розриви нитки трубопроводу внаслідок тектонічних процесів, господарської діяльності, проведення профілактичних, діагностичних чи аварійно-відновлювальних робіт, в) приєднання відводів до трубопроводів з метою несанкціонованого відбору (крадіжки) продукту.

Для мінімізації негативних наслідків розгерметизації МГ застосовують спеціальні автоматизовані системи виявлення витоків (СВВ). Відомі СВВ, які відрізняються фізичними принципами їхнього функціонування, використовуваними інформативними параметрами, технологіями відбору та оброблення даних тощо. Останнім часом широкого розповсюдження набули методи обчислювального моніторингу, які базуються на даних вимірювання газогідродинамічних параметрів у середовищі транспортованого флюїду. В цих методах істотно використовуються математичні моделі динаміки флюїду, які описують перенесення маси, імпульсу та енергії вздовж трубопроводу. Виявлення витоків за цими методами здійснюють на основі розв'язків відповідних початково-крайових задач, отриманих у результаті виконання об'ємних обчислень із використанням складних алгоритмів. Основним складником цих методів є програмне забезпечення, яке забезпечує розв'язування крайових задач газової динаміки у реальному часі.

У доповіді розглядається методи виявлення та ідентифікації витоків у магістральному газопроводі, який базується на розв'язуванні прямих, обернених задач динаміки газу в трубі. Вхідними даними для обернених задач є дані моніторингу тиску, температури газу та середовища на вході і виході та у контрольних точках, розподілених вздовж траси трубопроводу (рис. 1, рис. 2)

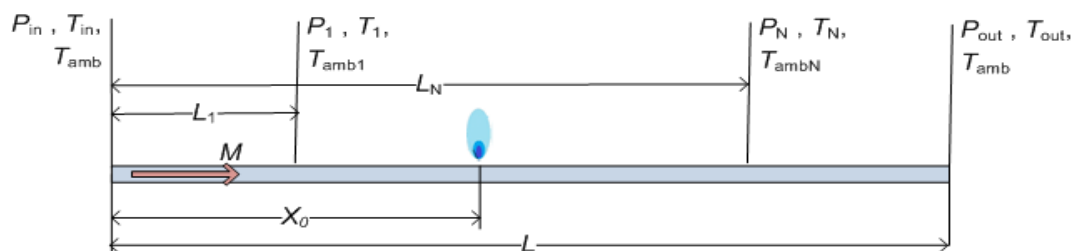


Рисунок 1 – Схема моніторингу інформативних параметрів

Дані моніторингу містять стохастичну складову, зумовлену нерівномірністю роботи компресорних станцій, флуктуаціями фізичних параметрів потоку, похибками вимірювань. Їх обробляють, застосовуючи методи статистичного аналізу, формуючи вхідні дані для задач виявлення та ідентифікації витoku (рис. 2).

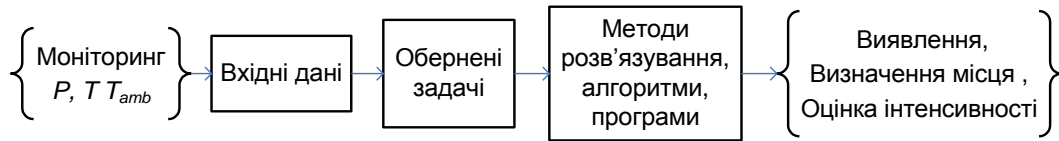


Рисунок 2 – Схема виявлення та ідентифікації витoku на основі даних моніторингу

Розроблені ефективні варіаційно-ітераційні методи розв'язування цих задач [1, 2]. Проведено низку числових експериментів, які підтвердили ефективність розроблених методів, алгоритмів та програм. Запропонована структурна модель системи виявлення витоків, яка реалізує запропоновані методи та розроблено алгоритм її функціонування (рис. 3).

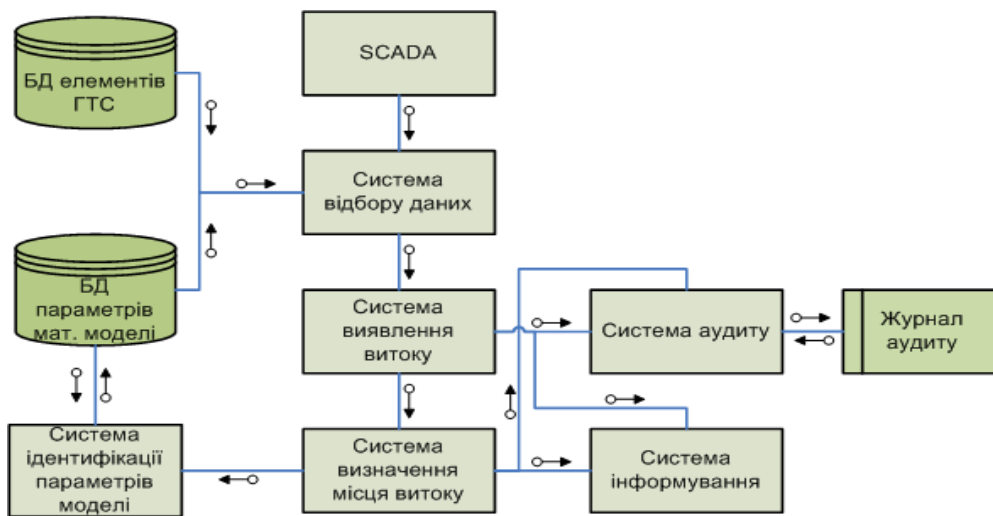


Рисунок 3 – Структура системи виявлення витоків із МГ

Алгоритм роботи СВВ передбачає неперервну обробку даних моніторингу, виявлення витoku та його ідентифікацію (визначення місця розгерметизації та оцінювання інтенсивності витoku). Паралельно дані моніторингу використовуються для неперервної ідентифікації параметрів математичної моделі.

СВВ доцільно інтегрувати в програмно-апаратний комплекс для диспетчерського управління ПАТ Укртрансгаз, побудований із застосування концепції MES [3]. Реалізація передбачає створення: а) системи автоматичного моніторингу витрат газу на вході та виході МГ, паливного газу, який споживають компресорні станції, тисків на вході та виході кожної ділянки і у декількох проміжних точках; б) системи інтеграції даних моніторингу в єдиній базі даних; в) програм для розв'язування задач моделювання газодинамічних процесів в МГ в реальному часі та реалізації розроблених алгоритмів.

### Література

1. Чекурін В. Ф. Математична модель перехідних процесів перенесення маси й імпульсу в довгому газопроводі. Фізико-математичне моделювання та інформаційні технології. 2010. № 11. С. 210—219.
2. Chekurin V., Ponomaryov Yu., Khymko O. A mathematical model for evaluation the efficiency of gas – main pipe line in transient operational modes. Econtechmod. 2015. 4. No 3. 25-32.
3. Пономарьов Ю. В., Притула М. Г., Химко О. М., Чекурін В. Ф. Автоматизація управління ГТС: стан та перспективи розвитку з використанням MES. Нафтогазова галузь України. 2015. №5. С. 40—45.

Городецкий В. Г., кандидат физико-математических наук, доцент,  
 Национальный технический университет Украины  
 «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»  
 Осадчук Н. П.,  
 Национальный технический университет Украины  
 «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

## РЕКОНСТРУКЦИЯ И ОПТИМИЗАЦИЯ МОДЕЛИ АКТИВНОСТИ НЕЙРОНА

**Аннотация.** Была выполнена реконструкция модели активности нейрона по временному ряду одной наблюдаемой переменной. С помощью сочетания аналитических и численных методов были найдены модели, альтернативные известной системе Hindmarsh-Rose.

**Ключевые слова:** временной ряд, реконструкция, оригинальная система, стандартная система, модель Hindmarsh-Rose.

Была рассмотрена задача реконструкции системы обыкновенных дифференциальных уравнений по временному ряду одной наблюдаемой переменной. Для решения поставленной задачи использовалось сочетание аналитических и численных методов, аналогичное изложенному в [1]. При этом вначале по временному ряду численным методом реконструируется стандартная система (СС) известного вида, после чего выполняется аналитический переход к неизвестной оригинальной системе (ОС). При этом для одной и той же СС аналитически могут быть найдены несколько ОС, которые отличаются не только значениями коэффициентов, но и общим видом уравнений. В качестве источника данных рассматривалась модель активности нейрона Hindmarsh-Rose, которая имеет вид:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = a_0 + a_2 x_2 + a_3 x_3 + a_4 x_1^2 + a_{10} x_1^3, \\ \dot{x}_2 = b_0 + b_2 x_2 + b_4 x_1^2, \\ \dot{x}_3 = c_0 + c_1 x_1 + c_3 x_3. \end{cases} \quad (1)$$

В качестве наблюдаемой переменной принималась  $x_1$ .

ОС (1) соответствует СС, которая имеет вид:

$$\begin{cases} \dot{y}_1 = y_2, \\ \dot{y}_2 = y_3, \\ \dot{y}_3 = N_0 + N_1 y_1 + N_2 y_2 + N_3 y_3 + N_4 y_1^2 + N_5 y_1 y_2 + \\ + N_6 y_1 y_3 + N_7 y_2^2 + N_{10} y_1^3 + N_{11} y_1^2 y_2 + N_{12} y_1^2 y_3 + N_{13} y_1 y_2^2, \end{cases} \quad (2)$$

где:  $y_1(t) \equiv x_1(t)$ , и все коэффициенты СС могут быть аналитически выражены через коэффициенты ОС. Значения коэффициентов СС легко рассчитываются численным методом по временному ряду наблюдаемой переменной. Аналитические соотношения между коэффициентами ОС (1) и СС (2) использовались для поиска ОС более простых, чем ОС (1), имеющая 11 ненулевых коэффициентов в правых частях их уравнений. В результате были получены три системы с 9 коэффициентами, отличающиеся от (1) тем, что только один из коэффициентов  $a_0$ ,  $b_0$ ,  $c_0$  ненулевой, а два других равны нулю. Для указанных систем аналитически были определены значения коэффициентов  $a_0$ ,  $a_4$ ,  $a_{10}$ ,  $b_0$ ,  $b_2$ ,  $c_0$ ,  $c_3$  и произведения коэффициентов  $a_2 b_4$ ,  $a_3 c_1$ . Аналогично, используя соотношения для коэффициентов более общей ОС, чем (1), были получены 18 систем с 11-ю коэффициентами в правых частях уравнений, 3 системы – с 10-ю коэффициентами и 12 – с 9-ю коэффициентами.

### Литература

1. Gorodetskyi V., Osadchuk M. Analytic reconstruction of some dynamical systems. Physics Letters A. 2013. Vol. 377. 703—713.

**Дорофеев Ю. И.**, доктор технических наук, доцент,  
Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»  
**Любчик Л. М.**, доктор технических наук, профессор,  
Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»  
**Никульченко А. А.**,  
Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»

## **ОПТИМАЛЬНОЕ ГАРАНТИРУЮЩЕЕ УПРАВЛЕНИЕ ЗАПАСАМИ В ЦЕПЯХ ПОСТАВОК С НЕОПРЕДЕЛЕННЫМИ ВРЕМЕННЫМИ ЗАДЕРЖКАМИ**

**Аннотация.** Предложен подход к решению задачи синтеза управления запасами для производственных систем с неопределенными задержками пополнения запасов в условиях действия неизвестного, но ограниченного внешнего спроса и наличия ограничений на размеры заказов. Использование второго метода Ляпунова и метода инвариантных эллипсоидов позволило обеспечить робастную устойчивость замкнутой системы, а также гарантированную стоимость полученного управления. С помощью математического аппарата линейных матричных неравенств задача синтеза регулятора сведена к задаче полуопределенного программирования.

**Ключевые слова:** управление запасами, неопределенная временная задержка, гарантирующее управление, метод инвариантных эллипсоидов, линейное матричное неравенство.

**Введение.** Задаче синтеза регуляторов для линейных динамических систем в условиях неопределенных временных задержек уделяется значительное внимание в работах по теории автоматического управления. Поскольку наличие задержек часто является причиной ухудшения качества системы и даже потери устойчивости, множество публикаций посвящено проблемам анализа устойчивости и синтеза регуляторов для непрерывных систем с временными задержками (см. [1] и ссылки в ней). Гораздо меньше внимания уделяется дискретным системам с задержками. Это связано с тем, что дискретные системы могут быть преобразованы путем расширения пространства состояний к виду систем без задержек. Однако, подобное преобразование приводит к увеличению размерности системы, а в случае неопределенности величин задержек является неприменимым.

При синтезе систем управления запасами усилия разработчиков направлены на построение регуляторов, которые не только обеспечивают робастную устойчивость замкнутой системы, но и гарантируют достаточный уровень производительности. Одним из подходов к решению этой задачи является синтез так называемого гарантирующего управления (guaranteed cost control). Преимущество указанного подхода в том, что он позволяет определить верхнее граничное значение заданного критерия качества и, следовательно, разработчик имеет возможность оценить снижение производительности системы, вызванное наличием временных задержек.

Развитие теории линейных матричных неравенств (ЛМН) позволяет применить подобный подход для синтеза оптимального управления запасами в производственных системах с неопределенными задержками пополнения запасов. В частности, с помощью указанного подхода разработаны процедуры синтеза законов управления с обратной связью по состоянию для систем с неопределенными задержками на основе решения модифицированного уравнения Риккати и с использованием техники ЛМН [2]. Однако, в указанных работах не рассматривались внешние возмущения и не учитывались эксплуатационные ограничения, присущие системам производства-хранения-распределения ресурсов. Тогда как использование ЛМН позволяет не только эффективно находить оптимальные решения, но и учитывать различные дополнительные ограничения.

Подход, предложенный в данной работе, заключается в следующем. Вначале формулируется достаточное условие существования закона гарантирующего управления в виде обратной связи по состоянию, а затем доказывается, что это условие эквивалентно

разрешимости некоторого ЛМН. Решение соответствующего ЛМН используется для синтеза гарантирующего управления запасами. Исходя из этого, формулируется задача полуопределенного программирования для нахождения оптимального гарантирующего регулятора, минимизирующего верхнюю границу функции стоимости.

**Целью работы** является синтез системы управления запасами для производственной системы с задержками пополнения запасов, описываемой линейной дискретной моделью в пространстве состояний, которая в условиях неизвестного, но ограниченного спроса на ресурсы и неопределенности величин задержек обеспечивает: 1) робастную устойчивость замкнутой системы при выполнении заданных ограничений на значения управляющих воздействий; 2) гарантированную стоимость управления, которая означает, что значение квадратичного критерия качества для замкнутой системы не превысит некоторого граничного значения.

**Метод решения.** Традиционным средством защиты от неопределенности спроса является создание страховых запасов, размеры которых вычисляются на основе верхних граничных значений спроса с учетом максимально возможных временных задержек.

В качестве управляющих воздействий рассматриваются размеры заявок на поставку ресурсов. Поскольку уровни наличных запасов ресурсов доступны для непосредственного измерения, закон управления строится в виде линейной обратной связи по сигналу рассогласования между наличными и страховыми уровнями запасов ресурсов.

Предложенный подход основан на достаточных условиях робастной устойчивости динамических систем и состоит в построении квадратичной функции Ляпунова (ФЛ). При формировании ФЛ используется разность вектора состояний, компоненты которого определяют наличные уровни запасов ресурсов, и вектора страховых запасов, а также векторы управляющих воздействий с задержкой. Потребуем, чтобы значение ФЛ с течением времени убывало с некоторой скоростью, определяемой значением квадратичного функционала качества, определенного на бесконечном временном горизонте. Тогда верхнее граничное значение критерия качества определяется значением ФЛ, вычисленной в начальный момент времени.

Классический подход к решению задачи синтеза управления, минимизирующего квадратичный критерий качества, основан на решении алгебраического уравнения Риккати и гарантирует оптимальное решение для произвольных начальных условий. Чтобы получить аналогичный результат в условиях неопределенных временных задержек применяется метод инвариантных эллипсоидов [3]. Инвариантные по состоянию эллипсоиды могут рассматриваться в качестве аппроксимации множества достижимости замкнутой системы, то есть позволяют характеризовать влияние внешних возмущений и неопределенности параметров модели на траекторию замкнутой системы. Предложенный способ построения инвариантного эллипсоида замкнутой системы позволяет определить множество, которое находится внутри поверхности уровня введенной ФЛ. Таким образом, задача сводится к построению регулятора, который обеспечивает минимизацию по некоторому критерию инвариантного эллипсоида при заданных ограничениях. В качестве критерия выбрана сумма квадратов полуосей эллипсоида, то есть след его матрицы.

**Выводы.** В работе предложен подход к решению задачи синтеза оптимального гарантирующего управления запасами для производственных систем с неопределенными задержками пополнения запасов в условиях действия неизвестного, но ограниченного внешнего спроса и наличия ограничений на размеры заказов ресурсов. Подход основан на использовании второго метода Ляпунова и метода инвариантных эллипсоидов. Применение математического аппарата ЛМН позволило свести задачу синтеза регулятора к задаче полуопределенного программирования.

### Литература

1. Zhu X. L., Yang G. H. New results of stability analysis for systems with time-varying delay. *International Journal of robust and nonlinear control*. 2010. Vol. 20. 596-606.
2. Yua L., Gao F. Optimal guaranteed cost control of discrete-time uncertain systems with both state and input delays. *Journal of the Franklin Institute*. 2001. Vol. 338. 101-110.
3. Поляк Б. Т., Хлебников М. В., Щербаков П. С. Управление линейными системами при внешних возмущениях (техника линейных матричных неравенств). Москва. Ленанд. 2014. 560 с.

Романенко В. Д., доктор технических наук, профессор,  
 Национальный технический университет Украины  
 «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»  
 Милявский Ю. Л., кандидат технических наук,  
 Национальный технический университет Украины  
 «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

## РОБАСТНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ИМПУЛЬСНЫМИ ПРОЦЕССАМИ В КОГНИТИВНЫХ КАРТАХ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ ПРИ НЕПОЛНЫХ ИЗМЕРЕНИЯХ КООРДИНАТ ВЕРШИН

**Аннотация.** В докладе исследовано применение метода инвариантных эллипсоидов и  $H_\infty$ -оптимизации для робастного управления импульсными процессами в когнитивных картах (КК) сложных систем при неполных измерениях координат вершин путем подавления неконтролируемых ограниченных возмущений. Выполнен синтез законов управления импульсными процессами КК на основе непосредственного воздействия вектора управления на вершины КК в замкнутой системе управления.

**Ключевые слова:** когнитивная карта, импульсный процесс, система управления.

Когнитивная карта представляет собой взвешенный ориентированный граф, вершины (узлы) которого отображают координаты (факторы, концепты) сложной системы, а ребра с весами описывают причинно-следственные взаимосвязи между этими вершинами. Для автоматизации управления динамическая модель импульсных процессов КК разделяется на две взаимосвязанные части в форме разностных уравнений [1]:

$$\Delta \bar{X}_1(k+1) = A_1 \Delta \bar{X}_1(k) + B \Delta \bar{u}(k) + D_1 \Delta \bar{X}_1(k), \quad (1)$$

$$\Delta \bar{X}_2(k+1) = A_2 \Delta \bar{X}_2(k) + D_2 \Delta \bar{X}_1(k), \quad (2)$$

где:  $\bar{X}_1$  – вектор измеряемых координат вершин КК,  $\bar{X}_2$  – вектор неизменяемых координат, а  $\Delta \bar{X}_1(k) = \bar{X}_1(k) - \bar{X}_1(k-1)$ ,  $\Delta \bar{X}_2(k) = \bar{X}_2(k) - \bar{X}_2(k-1)$ . Первая часть (1) сформирована для представления динамики измеряемых координат  $\bar{X}_1$ , а неизменяемые координаты  $\bar{X}_2$  в (1) являются возмущениями с неизвестными вероятностными характеристиками. Матрицы  $A_1, A_2, D_1, D_2$  определяются экспертами.

Первая задача робастного управления, рассмотренная в данном докладе, решается на основе метода инвариантных эллипсоидов для подавления  $L_\infty$ -ограниченных возмущений:

$$\|\Delta \bar{X}_2\|_\infty = \sup_{k \geq 0} (\Delta \bar{X}_2^T(k) \Delta \bar{X}_2(k))^{1/2} \leq 1. \quad (3)$$

Для этого в уравнение (1) введен вектор управления в виде  $\Delta \bar{u}(k) = \bar{u}(k) - \bar{u}(k-1)$ , который формируется регулятором состояния:

$$\Delta \bar{u}(k) = -K \Delta \bar{X}_1(k), \quad (4)$$

и воздействует непосредственно на вершины  $\bar{X}_1$  первой части КК. Синтез матрицы  $K$  выполняется на основе критерия:

$$\operatorname{tr} P(\alpha) \rightarrow \min, \quad \alpha^* \leq \alpha < 1, \quad (5)$$

при котором минимизируется размер инвариантного эллипсоида [2]:

$$\mathcal{E}_{\Delta \bar{X}_1} = \{\Delta \bar{X}_1(k) \in \mathbb{R}^n : \Delta \bar{X}_1^T(k) P^{-1} \Delta \bar{X}_1(k) \leq 1\}, \quad P > 0 \quad (6)$$

для дискретных моментов времени  $k = 1, 2, 3, \dots$

Если для дискретной модели (1) внешние возмущения  $L_\infty$ -ограничены согласно (3), а пара  $(A_1, B)$  управляема, то задача синтеза регулятора состояния (4) будет оптимальной (5) при ограничениях в виде линейных матричных неравенств [2].

Вторая задача робастного управления решается на основе  $H^\infty$ -оптимизации [3]. Для этого исходная модель (1) преобразуется в модель типа «вход – выход», согласно рис. 1, где выделены координаты вершин КК  $\bar{Y}(k)$  на основе  $\Delta\bar{Y}(k) = C\Delta\bar{X}_1(k)$  при  $\dim \bar{Y} < \dim \bar{X}_1$ . Координаты  $\bar{Y}(k)$  необходимо стабилизировать путем подавления ограниченных возмущений  $\Delta\bar{X}_2(k)$ .

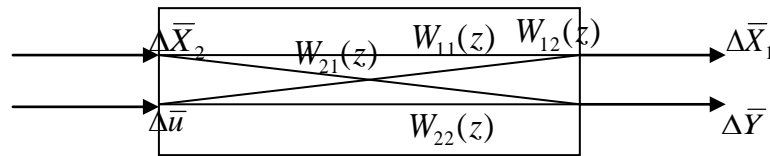


Рисунок 1 – Модель типа «вход – выход»

Матричные дискретные передаточные функции (МДПФ) равны:  $W_{11}(z) = (zI - A_1)^{-1}D_1$ ,  $W_{12}(z) = (zI - A_1)^{-1}B$ ,  $W_{21}(z) = C(zI - A_1)^{-1}D_1$ ,  $W_{22}(z) = C(zI - A_1)^{-1}B$ .

Для стабилизации вектора  $\Delta\bar{Y}(z)$  синтезируется закон управления:

$$\Delta\bar{u}(z) = K(z)\Delta\bar{X}_1(z).$$

Для синтеза матрицы  $K(z)$  сначала определяется МДПФ замкнутой системы по каналу « $\Delta\bar{X}_2(z) \rightarrow \Delta\bar{X}_1(z)$ »:

$$\Delta\bar{X}_1(z) = (I - W_{12}(z)K(z))^{-1}W_{11}(z)\Delta\bar{X}_2(z).$$

После этого находится МДПФ замкнутой системы управления по каналу « $\Delta\bar{X}_2(z) \rightarrow \Delta\bar{Y}(z)$ »:

$$W(K(z)) = W_{21}(z) + W_{22}(z)K(z)(I + W_{12}(z)K(z))^{-1}W_{11}(z).$$

Синтез матрицы  $K(z)$  выполняется путем решения стандартной задачи  $H^\infty$ -оптимизации:

$$\inf_{K(z)} \|W(K(z))\|_\infty = \gamma_{\min}.$$

В результате определяется регулятор  $K(z)$ , который минимизирует  $H^\infty$ -норму МДПФ по каналу « $\Delta\bar{X}_2(z) \rightarrow \Delta\bar{Y}(z)$ ».

Моделирование было проведено на примере КК IT-компании [4]. В модели выделены следующие измеряемые вершины: длительность разработки проекта; затраты на инновации; зарплата, премии, бонусы; бюджет проекта; прибыль; затраты на функционирование группы менеджеров; затраты на маркетинг; продажа однотипных проектов; затраты на проведение переаттестации; затраты на повышение квалификации. Остальные вершины являются неизмеряемыми и действуют как возмущения.

### Литература

1. Робертс Ф. С. Дискретные математические модели с приложениями к социальным, биологическим и экологическим задачам. Москва. Наука. 1986. 496 с.
2. Назин С. А., Поляк Б. Т., Топунов М. В. Подавление ограниченных внешних возмущений с помощью метода инвариантных эллипсоидов. Автоматика и телемеханика. 2007. № 3. С. 106—125.
3. Поляк Б. Т., Щербаков П. С. Робастная устойчивость и управление. Москва. Наука. 2002. 303 с.
4. Романенко В. Д., Милявский Ю. Л., Поляков М. В., Лецер Ю. А., Шевченко Г. Я. Исследование сценариев развития IT-компании на основе принятия решений в режиме управления импульсными процессами когнитивных карт. Тезисы докладов 1-го международного научно-практического форума "Наука и бизнес". Днепропетровск. Noosphere. 29-30 июня 2015 года. С. 233—237.

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ЭЛЛИПСОИДОВ В ЗАДАЧАХ ОДНОВРЕМЕННОГО ОЦЕНИВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ И СОСТОЯНИЙ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

**Аннотация.** В работе рассматриваются решения задач одновременного оценивания параметров и состояний линейных динамических систем, задаваемых уравнениями в дискретном времени.

**Ключевые слова:** оценивание состояний, нелинейные динамические системы.

### 1. Введение

Рассмотрена задача одновременного оценивания состояния и параметров управляемой линейной динамической системы по результатам измерения входной и выходной переменной, измерения которой зашумлены ограниченной помехой. Не предполагается наличие полезных стохастических свойств у неопределенных величин. Для оценивания используется модификация алгоритма метода эллипсоидов.

### 2. Постановка задачи и ее решение

Рассматривается управляемая система с постоянными параметрами с одной входной и выходной переменной, уравнения которой можно записать в следующем виде

$$\begin{cases} z_{k+1} = A(p_k)z_k + B(p_k)u_k, & k = 0, 1, \dots \\ p_{k+1} = p_k \end{cases} \quad (1)$$

$$y_k = \tilde{C}^T z_k + \xi_k, \quad (2)$$

где:  $u_k$  и  $y_k$  — измеряемые скалярные значения входной и выходной переменной в момент дискретного времени  $k$ , вектор  $\tilde{C} = (1, 0, \dots, 0)^T \in R^n$ . Матрицы  $A(p)$  и  $B(p)$  зависят от вектора параметров  $p = (p_1, \dots, p_{2n})^T = (a^T, b^T)^T$  и имеют следующий вид:

$$A(p) = A(a) = \begin{bmatrix} a_1 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ a_2 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_n & 0 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix}, \quad B(p) = B(b) = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \dots \\ b_n \end{bmatrix}. \quad (3)$$

Помеха измерения  $\xi_k$  в (2) предполагается ограниченной:

$$|\xi_k| \leq c. \quad (4)$$

где: константа  $c$  известна.

Задача заключается в построении таких оценок вектора состояния  $\hat{z}_k$  и вектора параметров  $\hat{p}_k$ , удовлетворяющих уравнению (1), для которых, начиная с конечного момента времени  $K$ , будет выполняться

$$|y_k - \tilde{C}^T \hat{z}_k| \leq c \quad \forall k \geq K. \quad (5)$$

Введем в рассмотрение вектор оцениваемых величин  $x_k = (z_k^T, p_k^T)^T$  и запишем систему уравнений (1) в следующем виде

$$x_{k+1} = A(x_k)x_k + B(x_k)u_k, \quad (6)$$

$$y_k = C^T x_k + \xi_k, \quad (7)$$

где

$$C = (1, 0, \dots, 0)^T \in R^{3n}, \quad A(x_k) = \begin{bmatrix} A(x_k) & \Theta_{n \times 2n} \\ \Theta_{2n \times n} & I_{2n} \end{bmatrix}, \quad B(x_k) = \begin{bmatrix} B(x_k) \\ \Theta_{2n \times 1} \end{bmatrix}. \quad (8)$$



Здесь  $\Theta_{n \times 2n}$  и  $I_{2n}$  – нулевая и единичная матрицы соответствующего размера.

Исходная задача эквивалентна задаче оценивания вектора состояния  $x_k$  нелинейной системы (6) по измерениям (7).

Для ее решения используется модифицированный алгоритм эллипсоидального оценивания [1], в соответствии с которым для оцениваемого вектора  $x_k$  с использованием уравнений (6) и (7) строится последовательность эллипсоидов  $X_k = \{x : (x - \hat{x}_k)^T H_k^{-1} (x - \hat{x}_k) \leq 1\} \subset R^{3n}$ , для которых выполняется

$$x_k \in X_k.$$

Имеет место глобальная сходимость при условии, что входные переменные обеспечивают соответствующий уровень возбуждения всех мод системы и ограниченности последовательностей  $\{u_k\}_{k=0}^{\infty}$  и  $\{y_k\}_{k=1}^{\infty}$ .

### 3. Заключение

В данной работе модификация алгоритма оценивания с помощью эллипсоидов [1] применена для решения задачи одновременного оценивания вектора состояния и параметров в условиях полного отсутствия априорной информации об оцениваемых величинах. Эффективность предложенного решения продемонстрирована на ряде численных примеров. Результат оценивания в этих примерах практически не зависел от исходной априорной информации, а именно от положения центра и размера исходной эллипсоидальной оценки для оцениваемых величин.

Можно ожидать, что предложенные алгоритмы будут также работоспособны при дрейфе оцениваемых параметров, вызванных не учтенными в математической модели причинами. Это вполне закономерно, поскольку оценивание в рассматриваемых примерах фактически начиналось из произвольной точки, а это можно рассматривать, как скачок в оцениваемых параметрах.

### Литература

1. Сальников Н. Н. Об одной модификации алгоритма оценивания параметров линейной регрессии с помощью эллипсоидов. Проблемы управления и информатики. 2012. № 2. С. 65—81.

### Секція 3 «Керування технічними, технологічними, біотехнічними об'єктами»

УДК 631.3:621.1

Василенков В. Є., кандидат технічних наук, доцент,  
Національний університет біоресурсів і природокористування України

## ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ СТАНУ ПОВІТРЯ, ЯКЕ ЗНАХОДИТЬСЯ В ВОДОНАПІРНІЙ БАШТІ ПРИ ЇЇ ЗАПОВНЕННІ

**Анотація.** Проведено аналіз технологічної схеми заповнення башти Рожновського отримано рівняння динаміки стану повітря, яке знаходиться в башті і описується законом Бойля-Маріотта.

**Ключові слова:** водонапірна башта, повітря, закон Бойля – Маріота, об'єм, температура повітря.

Найчастіше застосовується автоматична робота насосних станцій, при цьому важливий момент – це технологічна схема заповнення башти водою, що обумовлює надійність системи водопостачання [1, 2].

**Мета роботи:** підвищити надійність системи водопостачання та більш рівномірну роботу насосних станцій.

Об'єм башти визначають у результаті аналізу технологічної схеми заповнення її водою: 1) у башті об'ємом  $V_0$  діє тиск повітря  $P_0$ , а вода відсутня; 2) вода в башті перебуває на нижньому рівні  $HP$ , при якому відбувається автоматичне включення електронасоса, обсяг повітряної подушки  $V_1$  тиск повітря  $P_1$ ; 3) вода в башті перебуває на верхньому рівні  $BP$ , відбувається відключення електронасоса, об'єм повітря  $V_2$ , тиск  $P_2$ .

Регульований об'єм башти:

$$V_0 = V_1 - V_2. \quad (1)$$

Вважаючи, що кількість і температура повітря в процесі роботи залишаються постійними, за законом Бойля – Маріотта можна записати [3]:

$$RT = P_0 V_0 = P_1 V_1 = P_2 V_2, \quad (2)$$

де:  $R$  – газова постійна повітря;  $T$  – температура повітря.

З урахуванням виразу (2) регульований об'єм башти:

$$V_p = P_0 V_0 \left( \frac{1}{P_1} - \frac{1}{P_2} \right), \quad (3)$$

повний об'єм:

$$V_0 = V_p \frac{P_1}{P_0} \cdot \frac{1}{(1 - P_1/P_2)}. \quad (4)$$

Звичайний тиск  $P_0 = 1$ , а відношення  $P_1/P_2 = 0,65 \dots 0,75$  для невеликих установок і  $0,8 \dots 0,85$  для великих. Повний об'єм башти можна зменшити, створивши попередній тиск повітря в ньому, для чого потрібен додатковий компресор з ручним або механічним приводом. Тиск  $P_1$  вибирають таким, щоб забезпечити подачу води до самого вилученого споживача, а тиск  $P_2$  визначають із відношення  $P_1/P_2 = 0,65 \dots 0,85$ .

### Література

1. Гришин А. П. Создание технических систем управляемого водопользования в сельском хозяйстве. Москва. 2011. 47 с.
2. Василенков В. Є. Водопостачання цехів переробки та об'єктів с.г. призначення. Методичні вказівки для виконання РГЗ з дисципліни "Гідравліка та с.г. водопостачання". Київ. 2010. 47 с.
3. Ильяхин М. С., Сидоренков Ф. Т. Основы теплотехники. Москва. Агропромиздат. 1987. С. 9—11.

Беглов Я. И., магистр,  
Одесский национальный политехнический университет  
Беглов К. В., кандидат технических наук, доцент,  
Одесский национальный политехнический университет

## ПРИМЕНЕНИЕ НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ЖИДКОГО ПОГЛОТИТЕЛЯ В ПЕРВОМ КОНТУРЕ АЭС

**Аннотация.** В работе рассматривается синтез нечеткого регулятора с целью улучшения качества регулирования концентрации жидкого поглотителя в теплоносителе 1-го контура энергоблока АЭС с реактором типа ВВЭР-1000.

**Ключевые слова:** АЭС, регулирование мощности, борное регулирование, нечеткий регулятор.

В многочисленных работах, посвященных проблеме покрытия переменной части графиков нагрузок [1, 2, 3], указывается, что повышение доли АЭС в общей установленной мощности требует повышенной маневренности энергооборудования АЭС, то есть работы энергоблоков АЭС в переменном режиме.

Одним из способов изменения нагрузки энергоблока является изменение энерговыделения в реакторной установке путем изменения концентрации жидкого поглотителя. Для реакторов типа ВВЭР в качестве жидкого поглотителя используется борная кислота ( $H_3BO_3$ ).

Процесс изменения концентрации борной кислоты в теплоносителе первого контура называется борным регулированием (БР). Для уменьшения мощности реактора в коллектор питательного насоса подается раствор из бака с концентрированной борной кислотой, для увеличения мощности подается чистый конденсат. [4] Одновременно с этим, борная кислота выводится из теплоносителя.

В настоящее время борное регулирование состоит в дискретном вводе определённого количества  $H_3BO_3$  или чистого конденсата в ручном режиме до получения требуемого результата. Одним из недостатков такого режима борного регулирования является большое количество жидких радиоактивных отходов (ЖРО).

Как показано в [5] количество ЖРО можно существенно уменьшить применив автоматизированную систему регулирования.

Ранее в [6] рассматривался синтез и проводился анализ ПИ-регулятора. Основная сложность при настройке регулятора заключается в нелинейных свойствах объекта регулирования. А именно разными значениями коэффициента передачи и постоянными времени при нанесении управляющего воздействия разного знака.

Оптимальными были приняты настройки ПИ-регулятора для процесса с минимальным интегральным показателем качества и объектом, имеющим меньший коэффициент передачи и большую постоянную времени.

Однако даже при оптимальных настройках в системе наблюдаются колебания регулируемой величины. Поэтому была поставлена задача исследовать автоматизированную систему регулирования концентрации борной кислоты с нечетким ПИ-регулятором.

Правила нечеткого вывода были применены для расчета настроек регулятора. Моделирование АСР показало улучшение качества переходного процесса по сравнению с оптимальным ПИ-регулятором. А именно: отсутствие колебаний в системе и меньшее значение интегрального критерия качества переходного процесса регулирования.

### Литература

1. Беркович В. М., Горохов В. Ф., Татарников В. П. О возможности регулирования мощности энергосистемы с помощью атомных электростанций. Теплоэнергетика. 1974. № 6. С. 16—19.

2. Воронин Л. М. Особенности эксплуатации и ремонта АЭС. Москва. Энергоиздат. 1981. 166 с.
3. Игнатенко Е. И., Пыткин Ю. Н. Маневренность реакторов типа ВВЭР. Москва. Энергоатомиздат. 1985. 83 с.
4. Максимов М. В., Беглов К. В., Цисельська Т. О. Модель реактора ВВЕР-1000 як об'єкта управління: монографія. Сучасні технології управління. Одеса. Вид-во Купрієнко С. В. 2012. С. 108—122.
5. Медведєв Р. Б., Сангінова О. В. Оптимальне керування процесом зміни концентрації борної кислоти в теплоносії першого контуру АЕС з ВВЕР-1000. Наукові вісті Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут”. 2002. № 2 (22). С. 22.
6. Беглов К. В., Волошкіна О. О., Плахотнюк О. А. Дослідження регулятора концентрації рідкого поглинача енергоблоку АЕС. Автоматизация технологических и бизнес-процессов. 2015. №4. С. 18—24.

Вишневский Д. Л., магистр,  
Национальный университет «Одесская морская академия»  
Щур Н. А., аспирант,  
Национальный университет «Одесская морская академия»

## ОПТИМИЗАЦИЯ КОЛИЧЕСТВА РАЗРЯДОВ ДИСКРЕТНОГО РЕГУЛЯТОРА НАПРЯЖЕНИЯ АСИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА

**Аннотация.** Предложена методика оптимизации количества разрядов дискретного регулятора напряжения асинхронного генератора. Методика апробирована на двух асинхронных машинах типа АИР100S2. Получены зависимости напряжения генератора от подключенной емкости, а также дискретности регулятора от требуемого установившегося значения отклонения напряжения и коэффициента мощности.

**Ключевые слова:** асинхронный дизель – генератор, цифровой регулятор напряжения, контроллер.

На судах торгового флота источником электрической энергии до настоящего времени остается синхронный генератор (СГ), бесконтактное исполнение которого усложняет конструкцию генератора, увеличивает его массу и стоимость, также при перегрузке одной фазы синхронного генератора на остальных фазах напряжение может превысить допустимый уровень, кроме того они восприимчивы к К.З. в нагрузке.

Альтернативой СГ является асинхронный генератор (АГ) с короткозамкнутым ротором. Сложность применения АГ заключается в необходимости иметь управляемый источник реактивной мощности для возбуждения и регулирования напряжения.

Одна из нерешенных проблем при использовании в качестве источника реактивной мощности конденсаторов – определение число разрядов регулятора, обеспечивающего заданные критерии качества электроэнергии.

Для решения данной проблемы нужно решить следующие задачи:

1. Экспериментально определить зависимости напряжения генератора от подключенной емкости.

2. Произвести расчет зависимостей дискретности регулятора от требуемого установившегося значения отклонения напряжения и коэффициента мощности.

В дискретной системе стабилизации напряжения используются  $N$  трехфазных секций конденсаторов,  $N-1$  из которых коммутируются при помощи тиристорных ключей. Подключение секции управляется  $(N-1)$ -разрядным двоичным числом, поэтому величины коммутируемых емкостей соотносятся как  $(1:2:4:8: 2^{N-2})$ .

Количество разрядов цифрового регулятора определяется точностью регулирования и величиной коммутируемой емкости. Необходимая емкость возбуждения конденсаторов зависит от характера нагрузки генератора. Управление напряжением и частотой тока в асинхронном короткозамкнутом генераторе с конденсаторным возбуждением осуществляется путем изменения емкостного тока.

При работе регулятора этого типа необходимо дискретное изменение рабочей емкости, подключенной к генератору. Для этого необходимо определить число разрядов регулятора, обеспечивающего заданные критерии качества электроэнергии [1].

В качестве объекта испытаний использованы двигатели АИР100S2. Экспериментально были получены зависимости напряжения генератора от подключенной емкости.

Для определения точности регулирования при различном характере нагрузки выбраны следующие значения коэффициента мощности  $\cos \varphi$  : 1, 0,9, 0,8, что соответствует диапазону работы от активной до индуктивной нагрузки. Рассматривались условия поддержания напряжения генератора в пределах: +/- 5%, +/-2.5%, +/-1%.

Изменение напряжения при минимальном регулирующем воздействии регулятора должно быть меньше или равно зоне нечувствительности, определяемой заданной точностью регулирования, поскольку обратное приведет к автоколебаниям [2]. В свою очередь минимальное регулирующее воздействие определяет величину емкости конденсаторов, соответствующую минимальному разряду регулятора.

В ходе проведенного исследования установлено, что емкость конденсаторов возбуждения должна составлять около одной трети емкости конденсаторов, необходимой при работе генератора с максимальной нагрузкой. Эта составляющая часть общей емкости всегда подключена к его шинам для обеспечения плавного пуска.

Также в результате исследования были рассчитаны зависимости дискретности регулятора от требуемой точности и коэффициента мощности  $\cos \varphi$ .

В частности установлено, что для обеспечения точности поддержания напряжения генератора  $\Delta U_{st} = 5\%$  и  $\cos \varphi = 1$  достаточно 4 разрядов, при  $\cos \varphi = 0.8$  необходимо 6 разрядов цифрового регулятора.

Соответственно для  $\Delta U_{st} = 2.5\%$  необходимо 5 и 7 разрядов, а для  $\Delta U_{st} = 1\%$  необходим 6 и 8 разрядный регулятор для тех же  $\cos \varphi$ .

Таким образом, определение зависимостей напряжения генератора от подключенной емкости, а также дискретности регулятора от требуемого установившегося значения отклонения напряжения и коэффициента мощности позволило решить проблему определения числа разрядов регулятора, обеспечивающего заданные критерии качества электроэнергии.

#### Литература

1. ISO 8528-1:2005. Агрегаты генераторные переменного тока с приводом от поршневых двигателей внутреннего сгорания.
2. Дао Минь Куан. Совершенствование режимов работы судового асинхронного дизель-генератора: дис. ... канд. техн. наук : 05.05.03. Одесса. 2011. 153 с.

Гладкий А. М., кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник,  
Національний університет біоресурсів і природокористування України

## ДОСЛІДЖЕННЯ СПОТВОРЕНЬ СИНУСОЇДАЛЬНОЇ НАПРУГИ ВИЩИМИ ГАРМОНІКАМИ

**Анотація.** Проведено числове моделювання спотворень форми синусоїдальної напруги другою і третьою гармоніками, виконано порівняльний аналіз числових характеристик спотворень.

**Ключові слова:** електроенергія, якість, гармоніки, спотворення напруги, модель.

Поширення сучасних комп'ютерно-інтегрованих технологій веде до збільшення частки споживачів з нелінійними навантаженнями, які спричиняють спотворення синусоїдальної напруги вищими гармоніками, що негативно впливає на інше обладнання, викликаючи його перегрів і пошкодження, порушення синхронізації пристроїв і збої в мережах передачі даних та інші негативні наслідки. Зазначені фактори обумовлюють необхідність розробки нових методів досліджень, аналізу і мінімізації нелінійних спотворень напруги [1–3].

**Мета роботи** – дослідження спотворень форми синусоїдальної напруги вищими гармоніками, визначення числових характеристик спотворень та можливостей їх мінімізації.

**Результати досліджень.** За допомогою автоматизованої системи [3] проведено дослідження спотворень гармонічного коливання вищими гармоніками:

$$u(t) = \sin(\omega t + \varphi_1) + \sum_{n=2}^N K_n \sin[n(\omega t + \varphi_1) + \varphi_n],$$

де:  $t$  – час;  $\omega$  – частота;  $\varphi_1, \varphi_n, \dots, \varphi_N$  – початкова фаза;  $n = 2, 3, \dots$  – номер;  $N$  – кількість;  $K_n = U_n/U_1$  – коефіцієнт;  $U_1, U_n$  – амплітуда гармоніки відповідно.

Проведено моделювання та аналіз спотворень форми синусоїдальної напруги другою та третьою вищими гармоніками, рис. 1. Отримано залежності огинаючої напруги від фази і фази огинаючої від початкової фази другої і третьої гармонік та проведено оцінки спричинених цими гармоніками спотворень.

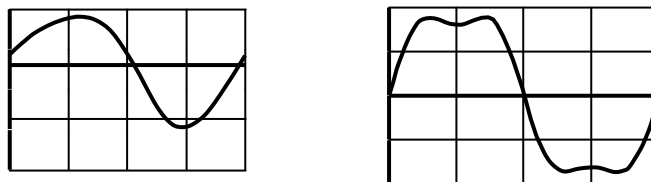


Рисунок 1 – Форма напруги при  $K_2 = K_3 = 0,2$ ;  $\varphi_2 = \pi/2$ ;  $\varphi_3 = 0$

**Висновки.** Отримані примодельованні оцінки спотворень синусоїдальної напруги вищими гармоніками можуть використовуватися для визначення допустимих рівнів нелінійних спотворень, обчислення похибок вимірювань амплітуди, частоти і різниці фаз від вищих гармонік, розробки методів мінімізації спотворень та ін.

### Література

1. Жежеленко И. В. Высшие гармоники в системах электроснабжения. Москва. Энергоатомиздат. 2010. 375 с.
2. Володарський. Є. Т., Волошко А. В. Система моніторингу якості електричної енергії в децентралізованих системах електропостачання. Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2014. Вип. 3/8 (69). С. 10—17.
3. Гладкий А. М. Автоматизована система дослідження спотворень кривої синусоїдальної напруги вищими гармоніками. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. 2015. Вип. 209. Ч. 1. С. 223—228.

Горобець В. Г., доктор технічних наук,  
 Національний університет біоресурсів і природокористування України  
 Антипов Є. О., кандидат технічних наук,  
 Національний університет біоресурсів і природокористування України

## ЗАСТОСУВАННЯ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ КІНЦЕВО-ЕЛЕМЕНТНОГО АНАЛІЗУ ДЛЯ ЧИСЕЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ТЕПЛОПЕРЕНОСУ В АКУМУЛЯТОРАХ ТЕПЛОТИ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДУ

Проведений аналіз різноманітних джерел [1–3], виявив недостатність інформації щодо використання нових способів чисельного моделювання перехідних фізичних процесів, які відбуваються при фазових перетвореннях акумулюючого матеріалу. Здебільшого, для їх опису використовують інженерні методики, які базуються на напівемпіричних рівняннях подібності та інтегральних методах, але вони не в змозі в повній мірі описати характер протікання того чи іншого фізичного процесу в умовах наближених до реальних. У багатьох випадках це приводить до невірних результатів.

У роботі проведено моделювання процесів тепломасопереносу в елементі теплового акумулятора з використанням програмного комплексу COMSOL Multiphysics 3.5a. Описання досліджуваних процесів тепло- і масообміну в апараті, виконувалось на основі: рівняння Нав'є – Стокса, закону Фур'є та рівняння теплопровідності, за умови фазового переходу, які доповнювались граничними та початковими умовами.

В результаті проведеного чисельного моделювання процесів тепломасообміну в об'ємі акумулюючого матеріалу було встановлено, що внесок конвективного потоку в загальну картину плавлення акумулюючого матеріалу, навколо циліндричного джерела теплоти з гладкою поверхнею, призводить до підвищення ефективності процесу та швидкості плавлення матеріалу розміщеного над джерелом теплоти. При цьому, відмінність між значеннями температур в об'ємах матеріалу верхнього та нижнього рівнів складає в межах  $\pm 5 \div 7$  °C (див. рис. 1).

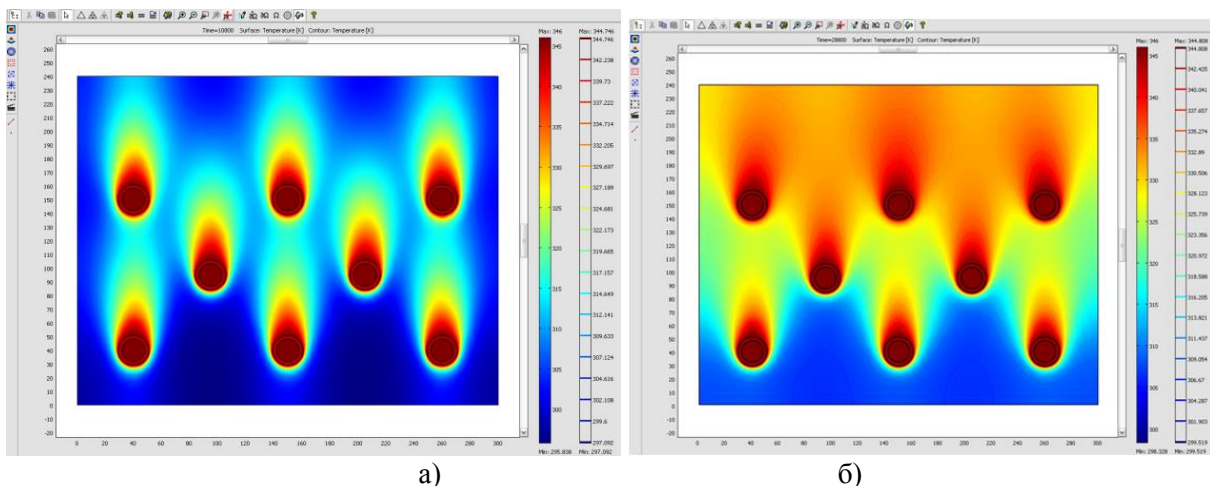


Рисунок 1 – Динаміка поширення температурних полів в поперечному перерізі об'єму акумулюючого матеріалу досліджуваної конструкції акумулятора теплоти:  
 а – через 10800 с; б – 28800 с.

### Висновки

В результаті проведеного чисельного моделювання отримано розподіл температурних полів і напрямки поширення теплових потоків в об'ємі акумулюючого матеріалу та



встановлено, що: наявність конвективних теплових потоків підвищує ефективність процесу теплопереносу та швидкість плавлення матеріалу, розміщеного над джерелом теплоти; існування застійних зон в кутових областях нижньої частини об'єму акумулюючого матеріалу, вказує на необхідність розміщення першого ряду нагрівальних труб в акумуляторі теплоти від дна та стінок корпусу на відстані, яка не перевищує значення граничного радіусу поширення теплоти.

### Література

1. Спэрроу Шмидт, Рэмси. Экспериментальное исследование роли естественной конвекции при расплавлении твердых веществ. Теплопередача. 1978. № 1. С. 10—16.
2. Соуза-Мендес, Пиньо-Бразил мл. Теплообмен при плавлении в окрестности изотермического вертикального цилиндра. Теплопередача. 1988. № 3.
3. Хо, Висканта. Теплопередача при плавлении от изотермической вертикальной стенки. Теплопередача. 1984. № 1. С. 9—18.

## АВТОМАТИЗАЦІЯ КЕРУВАННЯ ЕНЕРГООЩАДНИМИ РЕЖИМАМИ ОХОЛОДЖЕННЯ ЗЕРНОВИХ І СОКОВИТИХ ПРОДУКТІВ

**Анотація.** Розроблено систему автоматичного керування режимами охолодження і зберігання соковитої продукції і зерна за критерієм енергозбереження, яка реалізує зміну холодопродуктивності холодильного агрегату у відповідності до добової і сезонної зміни теплового навантаження.

**Ключові слова:** холодильна установка, холодопродуктивність, автоматичне регулювання, енергоефективний режим.

Застосування штучного холоду в процесах післязбиральної обробки і зберігання соковитої рослинної сировини і зерна дає можливість забезпечити схоронність якісних показників продукції і створити прогресивні технології її подальшої доробки і переробки. Зберігання рослинної продукції в охолодженому стані гальмує, та припиняє розвиток патогенної мікрофлори і шкідників. В останні роки широкого застосування набуває технологія холодильного зберігання зерна у господарствах, як засіб тимчасового і тривалого консервування. Враховуючи значну енергомісткість процесів холодильної технології і необхідність підтримання параметрів охолоджуючого повітря з досить високою точністю, ефективність процесу можна забезпечити тільки автоматизацією керування визначеними енергоефективними режимами холодильного зберігання.

Енергоефективний режим холодильної установки (компресорно-конденсаторний і вентиляційний агрегати та ємність з продуктом) реалізується шляхом забезпечення відповідності холодопродуктивності установки  $Q_o$  тепловому навантаженню  $Q_k$  – кількістю теплоти яку необхідно відвести від продукту, тобто  $Q_o = Q_k$  [1].

Встановлено, що при зберіганні соковитої рослинної продукції в сховищах із загальнообмінною вентиляцією найбільш інформативним параметром про стан продукту є величина температури повітря на «виході» камери (вході у випарник)  $t_{k2}$ , який і є регульованим і контролюваним параметром. Для керування холодильним обладнанням сховищ розроблено алгоритм керування, що забезпечує мінімізацію енергетичних затрат. Сутність керування при цьому полягає у зміні холодопродуктивності (потужність компресора і вентиляторної установки) у функції температури повітря  $t_{k2}$  при одночасній стабілізації температури на виході повітроохолоджувача  $t_{v2}$ .

Зважаючи на невизначеність величини теплових надходжень в часі для реалізації енергоефективного режиму створено нейромережеву систему керування холодильним обладнанням на основі апарату нечітких нейронних мереж.

На основі математичної моделі холодильної установки ідентифікованої за експериментальними даними [3]:

$$t_{k2} = a_0 + a_1 \cdot G_v + a_2 \cdot t_z + a_3 \cdot N_k + a_4 \cdot Q_k + a_5 \cdot G_v^2 + a_6 \cdot G_v \cdot t_z + a_7 \cdot G_v \cdot N_k + a_8 \cdot G_v \cdot Q_k, \quad (1)$$

створено нейроінформаційну експертну систему керування режимами роботи холодильного обладнання (рис. 1).

При використанні розімкнутої схеми холодопостачання (охолодження зерна або насипу плодоовочевої продукції активним вентиляванням) математична модель холодильної установки для самонавчання експертної системи набуває вигляду:

$$T_2 = b_1 \cdot t_z + (b_1 + b_2 \cdot G_v) Q_k + (b_3 + b_4 \cdot G_v) N_k. \quad (2)$$

Температура повітря на «виході» шару за умови стабілізації «вхідної» температури повітря на виході повітроохолоджувача однозначно пов'язана із тепловим станом об'єкта зберігання і несе інформацію необхідну для керування холодильною установкою.

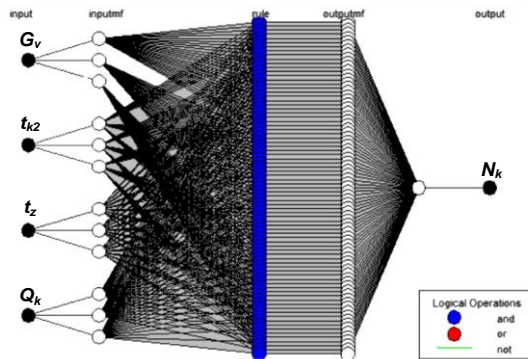


Рисунок 1 – Вікно середовища MATLAB/ ANFIS структури розробленої нейромережевої моделі керування холодильним обладнанням в сховищах при охолодженні та зберіганні соковитої продукції і зерна за критерієм енергозбереження

Сутність енергоефективного керування холодильною установкою полягає в зміні холодопродуктивності у відповідності до наявних теплонадходжень, як внутрішніх (теплота самозігрівання) так і зовнішніх (часова зміна температури зовнішнього повітря).

Таким чином розроблено систему автоматичного керування для реалізації енергозберігаючих режимів охолодження і холодильного зберігання рослинної продукції [2].

Практична реалізація САК впроваджена за схемою наведеною на рис. 2.

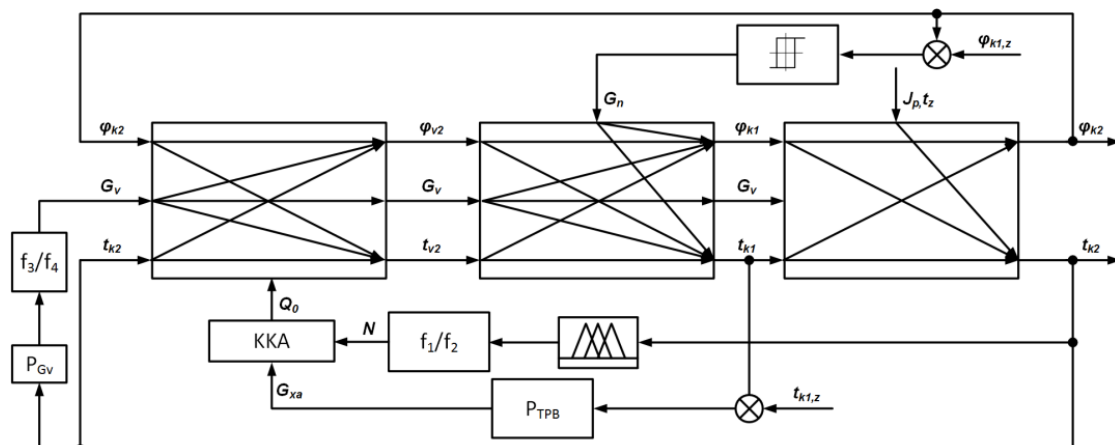


Рисунок 2 – Схема узагальненої САК холодильного обладнання в плодоовочесховищі з використанням нечіткого регулятора

**Висновки.** Створено структуру нейромережевої моделі керування холодильним обладнанням в сховищах при охолодженні та зберіганні соковитої продукції і зерна за критерієм енергозбереження. Розроблено САК холодильного обладнання в плодоовочесховищі з використанням нечіткого регулятора.

### Література

1. Котов Б. І., Грищенко В. О. Енергозберігаючий алгоритм управління технологічним мікрокліматом. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2011. Вип. 166. Ч. 4. С. 147—156.
2. Грищенко В. О. Автоматизація керування системою створення мікроклімату в камеріплодоовочесховищ. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2014. Вип. 194. Ч. 2. С. 206—210.
3. Грищенко В. О. Автоматизація процесу керування холодильним обладнанням в плодоовочесховищах: дис. на здобуття вченого ступеня канд. техн. наук. Кіровоград. 2016. 212 с.

**Жученко О. А.**, кандидат технічних наук, доцент,  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
**Коротинський А. П.**, аспірант,  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

## ЗАДАЧІ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ВИПАЛЮВАННЯ

**Анотація.** Досліджено процес випалювання вуглецевих заготовок з метою створення системи оптимального управління. Розглянуто та проаналізовано техніко-економічні та якісні показники, які можуть бути використані як критерії оптимального керування процесом. Приведено переваги та недоліки наведених критеріїв, обрано складову експлуатаційних витрат як критерій оптимального керування процесом. Крім критерію оптимальності для постановки задачі керування процесом випалювання вуглецевих виробів сформульовано обмеження, які діють у процесі керування.

**Ключові слова:** випалювання, вуглецеві заготовки, критерій управління, технологічні обмеження, оптимальне керування.

**Вступ.** Останнім часом практично в усіх галузях промисловості зросла роль вуглеграфітових виробів. Вони знайшли своє застосування в металургії, машинобудуванні, енергетиці, хімічній промисловості. Якість вуглецевих виробів обумовлюється суворим дотриманням значної кількості технологічних параметрів. Випалювання є основною технологічною операцією, що вимагає істотних енергетичних витрат, на цій стадії переробки вихідних матеріалів закладається основні властивості майбутнього виробу.

Виходячи з вищесказаного важливою є задача створення такої системи керування процесом випалювання вуглецевих виробів, що призведе до підвищення ефективності як даної технологічної стадії, так і всього виробництва вуглецевих виробів у цілому.

**Аналіз існуючих досліджень.** Забезпечення цілісності, однорідності структури і необхідних фізико-механічних властивостей випаленого матеріалу залежить від температурного режиму нагріву заготовок в окремих інтервалах температур; рівномірності нагріву по довжині і діаметру заготовок.[1]

У роботі [2] пропонується проводити процес випалювання з різними темпами підводу теплоти для відповідного діапазону температур.

Відповідно до роботи [3] видно, що кількість повітря, що подається на горіння визначається, в основному, розрідженням на печі. На практиці, зазвичай, використовують інший спосіб ведення процесу випалювання, коли газ споживається одночасно двома-трьома поряд розташованими камерами. В даному випадку повітря на горіння в першу камеру поступає гарячим, а в другу-третю холодний з атмосфери. Цей спосіб введення процесу випалювання приводить до зниження КПД печі на 10%.

**Постановка задачі.** У праці [4] сформульована загальна задача оптимізації виробництва вуглецевих виробів. Одним з процесів що складають виробництво вуглецевих виробів є процес випалювання. Постановка задачі керування процесом випалювання повинна включати формулювання критерію оптимального керування та обмежень на технологічні параметри процесу та показники його якості. Таким чином, метою даної статті є формулювання постановки задачі керування процесом випалювання вуглецевих виробів.

**Основна частина.** Було розглянуто можливість використання різних техніко-економічних показників як критерію оптимального керування процесом випалювання вуглеграфітових виробів. До таких критеріїв можна віднести: прибуток, рентабельність, експлуатаційні витрати, продуктивність. Проведений вище аналіз техніко-економічних показників, які можуть бути використані як критерії оптимального керування процесом випалювання вуглецевих виробів показує, що у найбільшій мірі ефективність ведення технологічного процесу випалювання можна оцінити за допомогою змінної складової експлуатаційних витрат для кожної кампанії

випалювання. Після завершення кампанії випалювання може виникнути потреба у визначені експлуатаційних витрат на кожну одиницю виробів, що випалювались (наприклад, для розрахунку собівартості продукції). Точно оцінити цю величину практично неможливо. Тому оцінювати величину експлуатаційних витрат  $C_{ij}$  на одиницю  $i$ -го виду виробів під час  $j$ -ї кампанії випалювання пропонується за формулою:

$$C_{ij} = \gamma_{ij} \frac{c_j}{l_{ij}},$$

де:  $l_{ij}$  – кількість одиниць  $i$ -го виду продукції, яка випалювалась під час  $j$ -ї кампанії;  $\gamma_{ij}$  – ваговий коефіцієнт, який обчислюється як масова частина  $i$ -го виду продукції від загальної маси  $M_j$  виробів, що випалювались у  $j$ -й кампанії.

Вимоги до показників якості вуглецевих виробів сформульовані у ТУ 1913-001-00200992-95. До основних з них відносяться щільність, електричний опір, теплопровідності. На жаль, контролювати ці величини безпосередньо під час проведення випалювання неможливо. Тому, як вказують результати досліджень, для забезпечення заданих показників якості виробів після випалювання потрібно жорстко дотримуватись встановленого температурного режиму для кожної стадії процесу випалювання, тобто:

$$T_{зад}^{\min}(\tau) \leq T(\tau) \leq T_{зад}^{\max}(\tau),$$

де  $T_{зад}^{\min}(\tau)$ ,  $T_{зад}^{\max}(\tau)$  – вектори заданого відповідно мінімального та максимального температурного режиму;  $T(\tau)$  – вектор поточної температури випалювання;  $\tau$  – поточний час.

Вектор  $T(\tau)$  має таку структуру:

$$T(\tau) = \begin{bmatrix} T_1(\tau) \\ T_2(\tau) \\ \dots \\ T_l(\tau) \end{bmatrix},$$

де:  $T_1, T_2, T_l$  – температури у характерних точках процесу.

Задача забезпечення виконання умови не є тривіальною, враховуючи взаємний вплив температур у різних точках процесу випалювання. Таким чином, задача керування процесом випалювання вуглецевих виробів включає у себе критерій оптимальності та обмеження.

**Висновки і напрямок подальших досліджень.** На основі проведеного аналізу техніко-економічних показників, які можуть бути використані у системі керування процесом випалювання вуглецевих виробів, обґрунтовано вибір змінної складової експлуатаційних витрат як критерію оптимального керування процесом.

Показано, що у зв'язку з неможливістю контролювати показники якості виробів, що випалюються, безпосередньо під час процесу, для забезпечення їх заданої якості потрібно враховувати обмеження на температурний режим процесу, що є складною задачею, враховуючи їх взаємозв'язок.

Сформульована постановка задачі керування процесом випалювання вуглецевих виробів.

Для розв'язання поставленої задачі керування у подальших дослідженнях потрібно розробити математичну модель процесу випалювання та метод врахування взаємозв'язаних параметричних обмежень.

### Література

1. Санников А. К., Сомов А. Б., Ключников В. В. и др. Производство электродной продукции. Москва. Металлургия. 1985. 129 с.
2. Пулинец И. В., Панов Е. Н., Карвацкий А. Я., Лелека С. В., Лазарев Т. В., Чирка Т. В. Теплообмен в многокамерных печах обжига углеграфитовых изделий: монография. Киев. НТУУ «КПИ». 2014.
3. Чалых Е. Ф., Пащенко Л. Ф. Печи электродных заводов: учебное пособие. Москва. МХТИ им. Д. И. Менделеева. 1983. 76 с.
4. Жученко О. А. Statement of the optimization problem of carbon products production. Автоматизация технологических и бизнес-процесів. Vol. 8. Issue 2/2016. С. 39—44.

## ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНИХ СТРАТЕГІЙ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ КОМПЛЕКСАМИ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

**Анотація.** Обґрунтовано використання нечітких когнітивних карт для сценарного управління технологічними комплексами в умовах невизначеності. Апробовано методіку побудови адекватної нейронної мережі Кохонена оптимізації вибору експертних думок щодо значень зв'язків між концептами – визначено їх чисельні значення. Запропоновано схему використання нейронних мереж Байєса для вибору в режимі реального часу значень впливу одного концепту на інший.

**Ключові слова:** нечіткі когнітивні карти, нейронна мережа, вагові коефіцієнти, сценарії управління, множина концептів.

Найбільш ефективним інструментом для вирішення задач управління складним технологічним комплексом і отримання прогнозів його поведінки при різних керуючих впливах є нечіткі когнітивні карти (НЧК). При цьому нейроінформаційний підхід до оптимізації функціонування когнітивної карти дозволяє використовувати нейромережевий алгоритм навчання, що підвищує ефективність отримання відповідних моделей і створює передумови для адаптації параметрів в режимі реального часу.

Оскільки більшість фактичної інформації по об'єкту управління отримується з експертних оцінок, то вона багато в чому носить суб'єктивний характер [1]. Причому думки експертів по одному і тому ж питанню можуть істотно, іноді принципово, відрізнитися. Тому завдання оптимального узагальнення експертних думок з метою побудови адекватної НЧК є актуальною.

Структура нечіткої когнітивної карти розроблялася виходячи з експериментальних досліджень і об'єктно-орієнтованого аналізу пивзаводу Задача НЧК – визначення ефективних стратегій та сценаріїв управління заданим технологічним комплексом. Формування значень вагових коефіцієнтів на основі експертних оцінок повинно вирішити проблему неможливості оперативного опитування експертів при зміні параметрів функціонування технологічного комплексу. Виходячи з технологічних особливостей досліджуваного об'єкта задається інтервал, через який виконується сценарне планування. На наступному етапі формується адекватна нейронна мережа (НМ), завдання якої - розрахунок значень параметрів НЧК виходячи з інформації отриманої на об'єкті. Створюване програмне забезпечення включає реалізацію роботи обох модулів, що забезпечує умову адаптивності: при виході системи за межі встановленої ефективності можливе перенавчання системи.

Для групування експертних оцінок і визначення єдиних значень використовуємо самоорганізаційні карти Кохонена. Модель Кохонена відноситься до класу алгоритмів векторного кодування. Вона забезпечує топологічне відображення, оптимально розміщує фіксоване число векторів у вхідному просторі вищої розмірності, забезпечуючи, таким чином, стиснення даних [2].

Після розрахунку за допомогою самоорганізаційної НМ Кохонена одиничних експертно визначених значень вагових коефіцієнтів НЧК ТК, при різних комбінаціях вхідних параметрів, необхідно вирішити задачу їх вибору в режимі реального часу. Для цього використовуємо імовірнісні нейронні мережі (PNN). Така мережа не вимагає навчання, так як всі параметри PNN-мережі визначаються навчальними даними.

Використовуючи експериментальні дані і отримані нейронною мережею Кохонена коефіцієнти синтезуються відповідні PNN-мережі. Для кожного окремого міжконцептуального зв'язку створюється своя ймовірнісна НМ, яка і забезпечує оптимальний вибір значень

коефіцієнтів НКК в режимі реального часу в залежності від значень технологічних параметрів пивзаводу.

### **Література**

1. Ладанюк А. П., Заєць Н. А., Власенко Л. О. Сучасні технології конструювання систем автоматизації складних об'єктів (мережеві структури, адаптація, діагностика та прогнозування): монографія. Київ. Ліра-К. 2016. 312 с.

2. Лисенко В. П., Решетюк В. М., Штепа В. М., Заєць Н. А. Системи штучного інтелекту: нечітка логіка, нейронні мережі, нечіткі нейронні мережі, генетичний алгоритм. Київ. НУБіП України. 2014. 336 с.

## РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ УСТАНОВКОЮ ДЛЯ ПЛАЗМОВОГО НАНЕСЕННЯ ПОКРИТЬ

**Анотація.** В процесі роботи металоріжучих верстатів виникає потреба у збереженні інструменту в робочому стані якнайдовше. Для того, щоб нанести спеціальне покриття на робочий інструмент, використовуються іонно-плазмові установки.

**Ключові слова:** іонно-плазмові установки, автоматизована система керування.

Вимоги інтенсифікації роботи металоріжучих верстатів потребують використання інструмента, зношення якого здійснюється максимально довго. Економічним шляхом одержання такого інструмента є нанесення на звичайний інструмент спеціальних покриттів. Для нанесення покриттів використовуються іонно-плазмові установки. Недоліком існуючих установок є занижений рівень їх автоматизації. Таким чином, виникло протиріччя між потребами нанесення високоякісних покриттів на інструменти, які забезпечують інтенсифікацію металообробки, і зависоким рівнем браку при нанесенні цих покриттів, який обумовлений низьким рівнем автоматизації установок. Суттєве підвищення рівня автоматизації, а відповідно, зниження браку і людського фактору при виробництві, потребує удосконалення комплексу моделей поведінки установки в динаміці, деякі з яких розроблені в роботах В. М. Тонкононого.

Розробка автоматизованої комп'ютерно-інтегрованої системи керування установкою з використанням сучасної концепції Industry 4.0 дає можливість усунути протиріччя та підвищити ефективність процесу нанесення покриттів, зменшити фінансові затрати завдяки зменшенню вірогідності браку. Виходячи з вищевикладеного, можна зробити висновок про актуальність і своєчасність досліджень, що становлять тему дисертації.

Метою роботи є розробка автоматизованої системи керування установкою для плазмового нанесення покриттів на металоріжучий інструмент, що дозволить забезпечити економічність роботи установки.

Досягнення мети здійснюється вирішенням таких дослідницьких задач: проведенням аналізу та узагальненням результатів наукових досліджень і вивченням існуючих систем автоматизованого керування технологічними установками плазмового нанесення покриттів; удосконаленням комплексу математичних моделей поведінки установки в динаміці; розробкою систем автоматичного керування установкою; дослідженням впливу можливих дій, що збурюють роботу систем керування; розробкою імітаційної моделі системи автоматизації установки. Для дослідження існуючих систем автоматизованого керування установкою використано методи системного аналізу, які дозволили визначити логічні послідовні дії при роботі установки. Для визначення параметрів установки у складі автоматизованої системи керування був використаний аналітичний метод, який базується на використанні теорії теплопередачі. Дослідження системи керування на стійкість та визначення раціональних параметрів регуляторів було виконано за допомогою теорії автоматичного керування.

### Література

1. Тонконогий В. М. Управление вакуумным дуговым разрядом при нанесении ионно-плазменных износостойких покрытий на режущий инструмент. Труды Одесского политехнического университета. 2003. Вып. 2(20). С. 134—137.
2. Тонконогий В. М. Система автоматизованого управління технологією нанесення зносостійких іонно-плазмових покриттів. Вісник Житомирського державного технологічного університету. 2004. Вип. 1(28). С. 141—145.
3. Тонконогий В. М., Савельєва О. С. Автоматизація управління технологією нанесення іонно-плазмових покриттів на різальний інструмент. Збірник наукових праць НТУ «ХП» «Високі технології в машинобудуванні». 2004. № 1. С. 162—167.



**Козирський В. В.**, доктор технічних наук, професор,  
Національний університет біоресурсів і природокористування України  
**Момотюк В. В.**, аспірантка,  
Національний університет біоресурсів і природокористування України

## КОНЦЕПЦІЯ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЧНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ З МЕТОЮ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ВИПІКАННЯ ХЛІБОБУЛОЧНИХ ПРОДУКТІВ

**Анотація.** Представлено структурну схему енергоефективної системи керування із використанням технологій штучного інтелекту. Обґрунтовано доцільність використання нейронних мереж при побудові системи керування на хлібному виробництві та сформовано алгоритм і структуру системи керування процесом випічки хлібу. Продемонстровано економічну доцільність використання розробленої енергоефективної інтелектуальної системи управління електротехнологічним комплексом хлібокомбінату.

**Ключові слова:** електротехнологічне обладнання, енергетичні потоки, репрезентативна вибірка, нейронна мережа, імітаційне моделювання.

На найбільш ефективних хлібопекарських підприємствах встановлено, як правило, закордонне обладнання, яке відрізняється своєю надійністю і точністю. Однак, більшість промислових підприємств досі використовують енергоємне обладнання, встановлене більше двадцяти років тому. Разом із тим ціни на енергоносії постійно зростають – дослідження практики енергозбереження показало, що потенціал економії енерговитрат в середньому на 50-70% вище, ніж існує на даний момент, що визначає актуальність модернізації електротехнологічного комплексу.

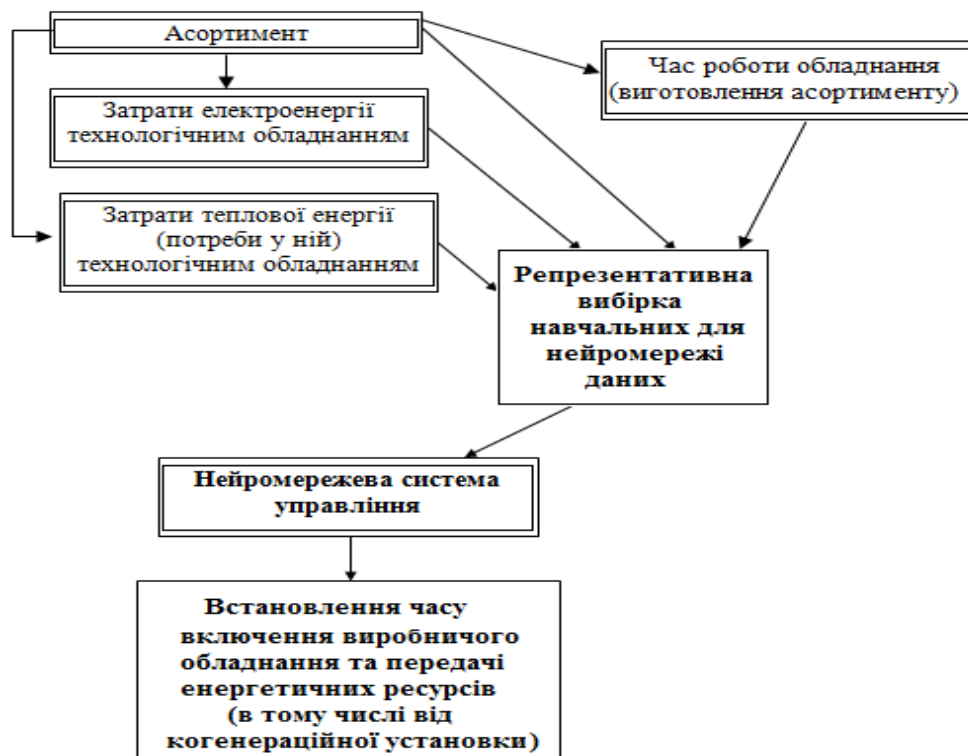


Рисунок 1 – Концепція використання електротехнологічної системи управління з метою підвищення енергоефективності випікання хлібобулочних продуктів

Для розробки та аналізу математичної моделі розподілу енергетичних ресурсів хлібокомбінату використано експериментальні дані отримані в результаті проведення пасивного експерименту, який проходив протягом 90 діб [2]. Результати досліджень та їх візуальний вигляд показали, що вимірювані асортиментні та енергетичні параметри змінюються нелінійно, а процеси проходять нестационарно, що значно ускладнює подальші дослідження впливу асортиментного завдання на енергетичні потоки при виробництві хлібопродуктів. Розроблено концепцію інтелектуального управління хлібокомбінатом згідної зонної вартості електроенергії (рис. 1). У пакеті прикладного математичного програмного забезпечення "MatLAB Simulink", здійснено імітаційні дослідження функціонування розробленої системи.

Отримані результати функціонування нейромережі продемонстрували, що відповідні кількісні показники якості управління (швидкодія, кількість напівколивань) технологічно прийнятні: максимальний час самоналаштування 43 епохи, що при застосуванні сучасного мікропроцесорного обладнання становитиме не більше 30 секунд реального часу.

### Література

1. Козирський В. В., Момотюк В. В., Заєць Н. А. Використання нечітких мереж Петрі для формування навчальних вибірок синтезу нейронних мереж. Наукові праці Національного університету харчових технологій. Київ. НУХТ. 2016. № 6 (22). С. 28—34.
2. Леоненков А. В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. Санкт-Петербург. БХВ-Петербург. 2005. 736 с.

**Котов Б. І.**, доктор технічних наук, професор  
Вінницький національний аграрний університет

**Грищенко В. О.**, кандидат технічних наук,  
Національний університет біоресурсів і природокористування України

**Калініченко Р. А.**, кандидат технічних наук, доцент  
Національний університет біоресурсів і природокористування України

## КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ СУШІННЯ ЗЕРНА В УСТАНОВКАХ ПЕРІОДИЧНОЇ ДІЇ

**Анотація.** Розроблено систему автоматичного керування енергоефективним режимом сушіння зерна в установках періодичної дії. Система реалізує режим сушіння при зміні кількості теплоти відповідно до зміни вологості температури зерна, що зменшує енерговитрати і реалізують ізотермічний режим.

**Ключові слова:** сушарка, зерно, періодичний режим, керування, система регулювання.

Сушіння зерна є необхідним і важливим процесом післязбиральної обробки врожаю, який сприяє підвищенню схоронності і збереженню якості продукту [1]. Основною задачею процесу сушіння є зневоднення зернового матеріалу до кондиційної вологості – 14%. Зниження вологості нижче нормованого значення призводить до перевитрат пального, підвищення вологості – до псування під час зберігання.

Вологість вихідного зернового матеріалу може змінюватись в досить широких межах і оператору важко контролювати процес змінення вологості.

Особливістю сушарок періодичної дії колонкового типу, які набули значного поширення, є нерівномірність зміни вологості зерна за шириною колонкового простору. Для позбавлення цього недоліку застосовують циркуляційний режим сушіння, тобто зерно безперервно циркулює у сушильному контурі до повного висихання переміщуючись у кожному циклі. Питомі витрати пального і електричної енергії перевищують показники в сушарках безперервної дії [2].

Для зменшення питомих витрат пального і електроенергії запропоновано роботу сушарки в енергозберігаючому режимі, сутність якого полягає в наступному: враховуючи, що кількість вологи в зерні в процесі зневоднення безперервно знижується то доцільним є і зменшення кількості теплоти яка передається конвекційним способом зерну і використовується на випарування вологи.

Зменшення кількості теплоти, що підводиться до зерна можна змінювати відповідно до теплового балансу:

$$Q = G_v c_p \eta (t_1 - \theta) = r G_3 (\Delta u), \quad (1)$$

за законом

$$\frac{A t_1 - A \theta}{r \Delta u} G_3(n), \quad (2)$$

де:  $G$ ,  $G_3$  – масові витрати сушильного агента і кількість зерна, що циркулює в сушильній камері в одиницю часу;  $t_1$  – температура сушильного агента на вході;  $r$  – питома теплота випарування;  $\Delta u = u_1 - u_2$  – зміна вологовмісту зерна;  $n$  – кратність циркуляції;  $A = G_v c_p \eta$ ;

$$\eta = 1 - \exp\left(-\frac{\alpha F}{G_v c_p}\right).$$

Зменшення витрат сушильного агента призводить до збільшення нерівномірності сушіння, зменшення вхідної температури до зменшення інтенсивності тепло- і масообміну. Рациональним способом зміни кількості теплоти, що передається зерну визначено зміну в часі кратності циркуляції зерна, тобто швидкості його переміщення вздовж сушильного тракту. Такий спосіб керування процесом можна практично реалізувати зміною швидкості

переміщення стрічки норії, тобто – зміною частоти обертання електроприводу, потужність якого найменша в сушильному агрегаті.

Зміну частоти обертання приводу завантажувальної норії здійснюють у функції поточної вологості зерна і коригують у відповідності до зміни температури зерна за функціональної залежності (2). На рис. 1 наведено схему САК зерносушінням.

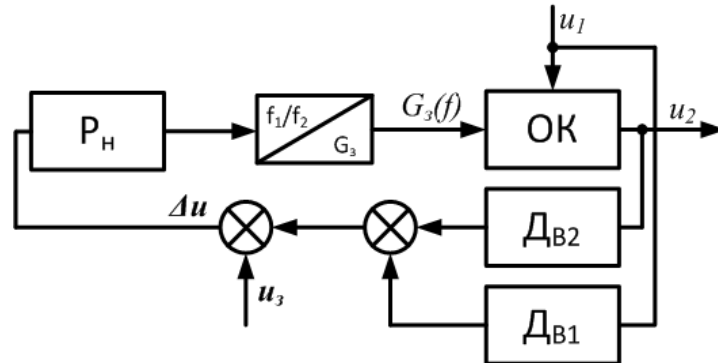


Рисунок 1 – Функціональна схема САК сушаркою періодичної дії

Зміна вологовмісту і температури зерна на виході сушильної камери від кратності циркуляції подано на рис. 2.

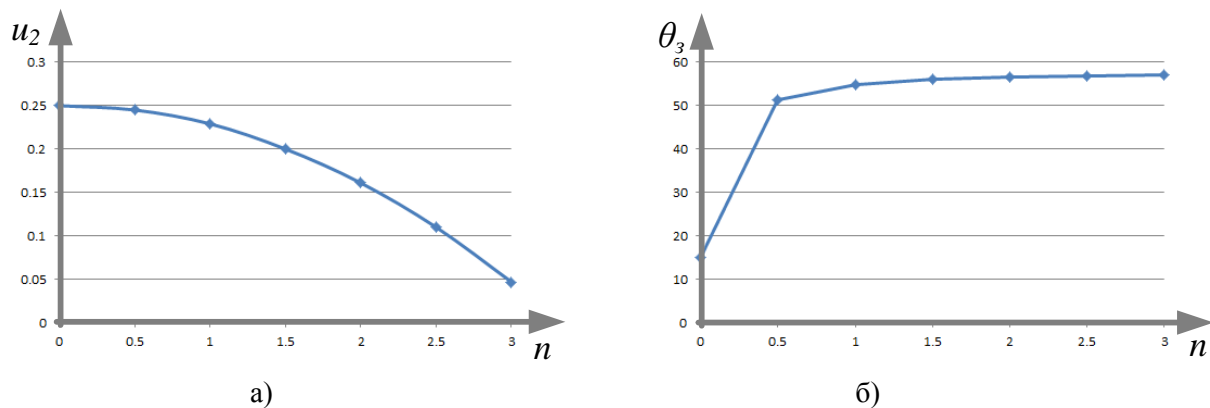


Рисунок 2 – Зміна параметрів зерна від кількості циклів циркуляції: а – вологовміст зерна; б – температура зерна

**Висновки.** Розроблено САК сушаркою періодичної дії. Отримано зміну параметрів зерна від кількості циклів циркуляції.

#### Література

1. Боуманс Г. Эффективная обработка и хранение зерна. Москва. Агропромиздат. 1991. 608 с.
2. Лісецький В. О. Підвищення ефективності сушіння зерна в сушарках періодичної дії. Автореф. дис. канд. техн. наук. 05.05.11. ННЦ "Інститут механізації та електрифікації сільського господарства". Глеваха. 2004. 23 с.

**Кузнецов Б. И.**, доктор технических наук, Институт технических проблем магнетизма  
**Никитина Т. Б.**, доктор технических наук,  
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет  
**Коломиец В. В.**, кандидат технических наук,  
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет  
**Волошко А. В.**, кандидат технических наук, Институт технических проблем магнетизма  
**Кобылянский Б. Б.**, кандидат технических наук,  
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

## СИНТЕЗ СИСТЕМ АКТИВНОГО ЭКРАНИРОВАНИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

**Аннотация.** Синтез системы активного экранирования техногенного магнитного поля воздушных линий электропередачи внутри заданной области пространства в условиях неопределенности основан на решении минимаксной задачи многокритериального нелинейного программирования с ограничениями, в которой вычисления целевых функций и ограничений выполняются на основании закона Био – Савара. Задача решается методом стохастической мультиагентной оптимизации мультироем частиц. Приведены примеры синтеза системы активного экранирования. Показана возможность уменьшения чувствительности синтезированной системы к неопределенностям модели объекта управления и снижения уровня индукции магнитного поля внутри заданной области пространства до санитарных норм.

**Ключевые слова:** воздушные линии электропередачи, магнитное поле промышленной частоты, система активного экранирования, неопределенности модели объекта управления, многокритериальный синтез, стохастическая мультиагентная оптимизация, мультирой частиц.

**Введение.** Многие жилые здания в Украине расположены в непосредственной близости от воздушных линий электропередачи так, что уровень индукции магнитного поля в них превышает современные санитарные нормы, что создает угрозу для здоровья людей, проживающих вблизи высоковольтных ЛЭП. Такое положение требует принятия определенных мер по снижению МП действующих ЛЭП в черте городов Украины. Наиболее приемлемыми для Украины являются методы экранирования МП действующих ЛЭП, из которых необходимую эффективность обеспечивают методы активного контурного экранирования магнитного поля.

Исходными параметрами для синтеза выступают параметры ЛЭП (рабочие токи, геометрия и количество проводов, расположение ЛЭП относительно защищаемого пространства), а также размеры защищаемого пространства и нормативное значение индукции МП, которое должно быть достигнуто в результате экранирования. При синтезе системы математическая модель исходного магнитного поля, создаваемого воздушными линиями электропередачи известна неточно. В частности, приближенно известны токи в токопроводах, которые имеют суточные, недельные, сезонные изменения. Неточно реализуются геометрические размеры компенсирующих обмоток, параметры регуляторов и т.д.

**Целью работы** является разработка метода синтеза систем активного экранирования магнитного поля, создаваемого воздушными линиями электропередачи внутри рассматриваемой области с учетом неопределенности модели объекта управления.

**Постановка задачи.** Введем векторотклонений параметров объекта управления системы активного экранирования от их номинальных значений, используемых при синтезе системы. Введем вектор искомых координат пространственного расположения и геометрических размеров обмоток магнитных исполнительных органов и параметров регуляторов. Синтезируем систему активного экранирования для наихудшего случая (worst-case), когда вариации параметров приводят к наибольшему ухудшению компенсации исходного магнитного поля, создаваемого воздушными линиями электропередачи [1]. С этой целью найдем вектор варьируемых параметров, при котором значение индукции магнитного поля в выбранной точке рассматриваемого пространства принимает максимальное значение для заданного вектора

пространственного расположения и геометрических размеров компенсируемых обмоток, а также параметров регулятора.

Синтез системы активного экранирования магнитного поля [2] сведен к решению минимаксной задачи многокритериальной оптимизации векторного критерия [3], компонентами которого являются действующие значения модуля вектора индукции в точках рассматриваемого пространства, и определяются по закону Био – Савара [2].

**Метод решения.** Для решения сформулированной минимаксной многокритериальной задачи оптимизации с ограничениями разработан алгоритм стохастической мультиагентной оптимизации на основе множества роев частиц [4]. При заданной структуре робастной системы активного экранирования магнитного поля в заданном пространстве задача синтеза сводится к определению такого вектора пространственного расположения и геометрических размеров компенсируемых обмоток, а также параметров регулятора и вектора варьируемых параметров объекта управления, при котором максимальное значение индукции магнитного поля в выбранных точках рассматриваемого пространства принимает минимальное значение по вектору параметров регулятора, но максимальное значение по вектору варьируемых параметров объекта управления. Такой прием соответствует стандартному подходу к синтезу робастных систем для наихудшего случая (worst-case) [1], когда вариации параметров приводят к наибольшему ухудшению компенсации исходного магнитного поля, создаваемого воздушными линиями электропередачи. Заметим также, что такой подход к синтезу робастной системы путем решения минимаксной задачи для динамических систем формулируется в виде динамической игры, когда первым игроком является регулятор и его стратегией является минимизация принятого критерия качества, а вторым игроком являются неточности модели объекта управления, и стратегией этого игрока является максимизация этого же критерия оптимизации [4].

**Результаты моделирования.** Приведены примеры синтеза систем активного экранирования внешнего техногенного магнитного поля промышленной частоты, создаваемого различными воздушными линиями электропередачи внутри рассматриваемой области жилых помещений и промышленных объектов.

**Выводы.** Разработан метод синтеза пространственного расположения и геометрических размеров обмоток магнитных исполнительных органов, а также параметров регуляторов системы активного экранирования техногенного магнитного поля промышленной частоты, создаваемого воздушными линиями электропередачи внутри рассматриваемой области жилых помещений и промышленных объектов с учетом неопределенности модели объекта управления.

Синтез системы активного экранирования сведен к решению минимаксной задачи многокритериальной оптимизации, в которой вычисления векторов целевой функции и ограничений выполняются на основании закона Био-Савара. Эта задача решается на основе построения Парето-оптимальных решений с помощью алгоритмов стохастической мультиагентной оптимизации мультироем частиц.

Показана возможность уменьшения чувствительности синтезированной системы к неопределенностям модели объекта управления и снижения уровня индукции магнитного поля, создаваемого различными воздушными линиями электропередачи внутри жилых помещений и промышленных зданий, с помощью синтезированных систем активного экранирования до уровня санитарных норм.

### Литература

1. Кунцевич В. М. Управление в условиях неопределенности: гарантированные результаты в задачах управления и идентификации. Киев. Наукова думка. 2006. 264 с.
2. Active Magnetic Shielding (Field Cancellation). <http://www.emfservices.com/afcs.html>.
3. Liu G. P., Yang J. B. and Whidborne J. F. Multiobjective Optimization and Control. Research Studies Press Ltd. 2013. 320.
4. Xin-She Yang, Zhihua Cui, Renbin Xiao, Amir Hossein Gandomi, and Mehmet Karamanoglu. Swarm Intelligence and Bio-Inspired Computation: Theory and Applications, Elsevier Inc. 2013. 450.

## ОСОБЛИВОСТІ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ БІОТЕХНІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ АГРАРНОГО СПРЯМУВАННЯ

**Анотація.** Аграрний сектор економіки України наповнений сучасними високотехнологічними підприємствами, де доля енергетики у структурі собівартості виробленої продукції досягає 70%. Типові системи автоматизації, що використовуються на таких підприємствах, не забезпечують високу енергоефективність. Пропонується для вирішення зазначеної проблеми використовувати інтелектуальні алгоритми формування стратегій керування електротехнічними комплексами, що є складовими технології і реалізацію цих алгоритмів.

**Ключові слова:** птахофабрики, теплиці, біологічне наповнення, системи автоматизації, інтелектуальні системи керування.

Аграрний сектор економіки України демонструє, навіть в умовах високих цін на енергоносії, перспективні результати ефективності. Особливо це помітно для підприємств промислового типу – тепличних комбінатів, птахофабрик, тощо, де використовуються значні за обсягами енергетичні потоки. На таких підприємствах доля ручної праці суттєво зменшена, що позитивно впливає також і на якість виробленої продукції. У той же час знаходяться можливості для підвищення енергоефективності таких підприємств, адже в структурі собівартості виробленої ними продукції саме доля енергетики сягає 20-70%.

На сьогодні системи, що формують стратегії керування електротехнічними комплексами, котрі є складовими технологій, реалізують на птахофабриках і тепличних комбінатах найпростіші позиційні стабілізаційні алгоритми, що не дає можливості забезпечити максимально-можливий на поточний момент, але протягом всього періоду, прибуток підприємства. Пояснюється це тим, що в подібних системах автоматизації не використовуються результати аналізу: станів біологічного наповнення (рослини, птиця); природніх збурень (температура і вологість зовнішнього середовища, сонячна радіація, тощо); цінової політики на ринку товарної продукції (ціни на: енергоносії, вироблену проекцію, надані послуги, тощо).

За результатами досліджень біологів відомо, що стани птиці в пташниках та рослин в спорудах закритого ґрунту залежать від параметрів атмосфери – температури, вологості, газового складу, інтенсивності та спектрального складу освітлення (із використанням зоотронів та фітотронів встановлено значення цих параметрів, що забезпечують найвищу продуктивність біологічного наповнення). Зрозуміло, що годівля птахів та живлення рослин при цьому повинна відбуватись відповідно до вимог технології. В умовах дешевих енергоносіїв стабілізація технологічних параметрів у будь-який технологічний період давала непоганий результат, оскільки найважливіше значення мала кількість виробленої продукції. Проте 90-і роки попереднього століття характеризувались ростом цін на енергоносії, що зумовило розробку та використання оптимальних алгоритмів керування потоками енергії і дало можливість зменшити енерговитрати у структурі собівартості виробленої продукції на 3–4% [1].

Результати дослідження біотехнічних об'єктів дозволили зробити висновки, що їх динамічні властивості в процесі виробництва суттєво змінюються, що не дозволяє забезпечувати оптимальність функціонування систем автоматизації. У зв'язку із зазначеним розвиток отримали адаптивні системи, що дало можливість зменшити долю енергетики у структурі собівартості виробленої продукції на 6–8%.

Як уже зазначалось, стани живих організмів визначаються параметрами атмосфери приміщення, де вони знаходяться – температурою, вологістю, газовим складом повітря, освітленням. Останнє особливо важливе для рослин, що утримуються в спорудах закритого ґрунту – без освітлення не відбувається фотосинтез, а значить і розвиток рослини. Суттєвий

вплив на ці параметри здійснює зовнішнє середовище – природні збурення у вигляді змін температури, вологості, сонячної радіації. Економічна доцільність компенсації цих впливів визначається за результатами аналізу та прогнозування природних збурень, станів біологічного наповнення, цінової політики на ринку товарної продукції та надійності отриманого результату. Реалізують таку задачу інтелектуальні системи керування, що функціонують на основі бази знань, котра наповнюється інформацією про: стани живих організмів, образи природних збурень, ціни на енергоносії та вироблену проєкцію та правила використання цієї інформації. База знань реалізована на основі використання теорій: випадкових процесів чи нейронних мереж для аналізу і прогнозування природних збурень; ігор і статистичних рішень для прийняття оптимальних рішень щодо стратегій керування. Використання таких систем дозволяє зменшити енергетичні витрати на 10-12% [2].

Останнім часом вбачають перспективу у використанні робототехніки для моніторингу станів рослин та атмосфери у спорудах закритого ґрунту. Мобільний робот рухається приміщенням теплиці, об'їжджаючи перешкоди і мінімізуючи витрати енергії. Інформація про стани рослин, у тому числі якість рослинної продукції, використовується як зворотній зв'язок для центральної системи автоматизації, що із на основі методу Харінгтона забезпечує формування оптимальних стратегій керування (в якості критерія оптимізації використовується прибуток). І в цьому випадку вирішення проблеми орієнтації в просторі теплиці, обробки та передавання отриманої інформації здійснюється із використанням інтелектуальних алгоритмів [3].

Україна – один із основних експортерів зерна у світі. В умовах постійного зростання цін на добрива, а без них досягнути високих урожаїв неможливо, актуальною стає задача їх оперативного та раціонального використання. Вимога оперативності пояснюється обмеженням терміном внесення мінеральних добрив у процесі вегетації рослин. Вирішення такої задачі можливо шляхом моніторингу у видимому спектрі станів насаджень зернових культур, застосовуючи з цією метою літаючі роботи з фотокамерою. Тривалі експерименти із використанням фітотрона та ґрунтових стаціонарів дали можливість визначити раціональні режими польоту робота та настройки фотокамери для отримання робочих знімків. Спектральний аналіз знімків з урахуванням калібрування щодо освітлення дали можливість, на основі використання інтелектуального алгоритму, оцінити потреби рослин в елементах живлення із прив'язкою до географічних координат. Зазначене дає можливість оперативного внесення відповідної кількості мінеральних добрив для отримання планової врожайності.

#### **Висновки**

1. Використання традиційних стабілізаційних алгоритмів у системах автоматизації в умовах дорогих енергоносіїв робить такі системи та підприємства енерго-неефективними.
2. Застосування інтелектуальних систем керування електротехнічними комплексами, що функціонують на основі бази знань, дозволяє:
  - суттєво підвищити енергоефективність таких систем, зменшивши енергоспоживання на 10-12% у порівнянні із традиційними стабілізаційними позиційними алгоритмами;
  - підвищити оперативність прийняття рішення щодо потреби внесення мінеральних добрив для рослинних насаджень із прив'язкою до географічних координат.

#### **Література**

1. Лисенко В. П., Головінський Б. Л., Русиняк М. О. Аналіз традиційних систем управління мікрокліматом пташників. Способи зниження енергетичних затрат та підвищення ефективності роботи птахофабрик яєчного напрямку. Науковий вісник Національного аграрного університету. 2008. № 118. С. 174—181.
2. Лисенко В. П., Русиняк М. О. Використання методу Лагранжа для визначення оптимальних параметрів мікроклімату в промисловому пташнику. Електрифікація та автоматизація сільського господарства. 2004. № 2(7). С. 75—83.
3. Лисенко В. П., Решетюк В. М., Штепа В. М., Пуха В. М. Передумови розробки робототехнічної системи агропромислового призначення. Вісник аграрної науки. 2010. № 10. С. 46—48.
4. Лысенко В. Ф., Опрышко А. А., Комарчук Д. С., Пасичник Н. А. Оперативное зондирование посевов как инструмент для программирования урожая. Инновации в сельском хозяйстве. 2 (98). 2016. С. 144—148.



## НЕЧІТКА КОГНІТИВНА КАРТА ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ЕНТОМОЛОГІЧНОЇ ПРОДУКЦІЇ

**Анотація.** З метою контролю якості ентомологічної продукції пропонується її математична модель у вигляді нечіткої когнітивної карти (FuzzyCognitiveMaps), представлені як орієнтований граф, вузлами котрого є нечіткі множини. Приведено результати аналізу щодо впливу вхідних концептів моделі – виду поживного середовища на якість виробництва ентомофага бракон (*Bracon hebetor*).

**Ключові слова:** нечітка когнітивна карта, якість, керування, ентомологічна продукція.

Виробництво ентомофагів, як біотехнологічний об'єкт, уявляє собою складну динамічну систему, що потребує керування. У процесах підготовки та прийняття рішень при керуванні виробництвом виникають питання щодо автоматизації слабо-структурованих завдань, таких як вплив біотичних (вид комахи-хазяїна, вік яєць комах-хазяїв, вид поживного середовища) і технологічних факторів (підживлення поживного середовища біодобавками, тривалість розведення на одному хазяїні) на якість ентомологічної продукції. Для вирішення цих питань запропоновано використання нечіткої когнітивної карти (Fuzzy Cognitive Maps), перевагою котрої є можливість формалізації чисельно невимірних факторів [1].

Нечітка когнітивна карта *НKK* має вигляд орієнтованого зваженого графа та уявляє собою сукупність множин [1]:

$$HKK = \{X_i, P_{i,j}, V_{i,j}\}, \quad (1)$$

де:  $\{X_i\}$  – множина концептів;  $\{P_{i,j}\}$  – множина зв'язків між концептами;  $\{V_{i,j}\}$  – множина ваг зв'язків між концептами.

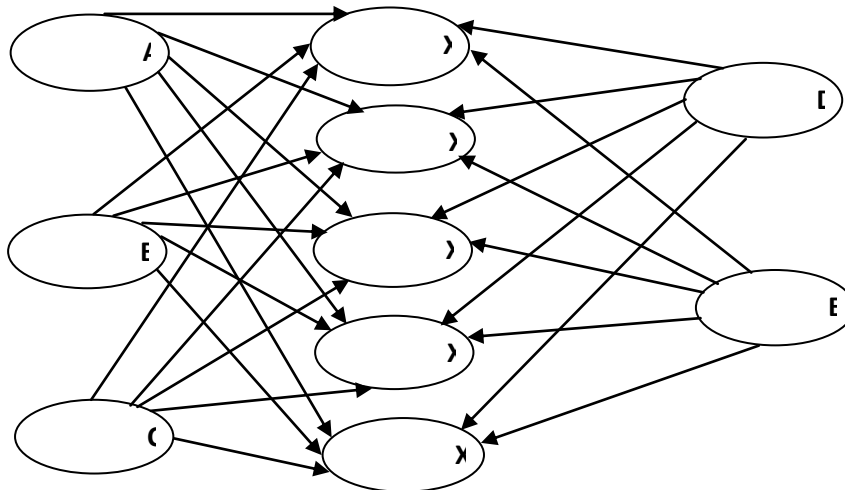


Рисунок 1 – Нечітка когнітивна карта для контролю виробництва ентомофага бракон

За даними експериментальних досліджень, проведених фахівцями ІТІ «Біотехніка» НААН України [3], розроблено нечітку когнітивну карту (рис. 1), що моделює вплив виду поживного середовища млинової вогнівки (*Ephestia kuehniella*) на якість виробництва ентомофага бракон (*Bracon hebetor*). Вхідними концептами є вид поживного середовища  $AX_1$ ,  $BX_1$ ,  $CX_1$ ,  $DX_1$ ,  $EX_1$  (таблиця), вихідними –  $X_2$  (середня виживаність личинок бракона, %),  $X_3$  (зараженість гусениць млинової вогнівки паразитом, %),  $X_4$  (середня маса гусениць млинової вогнівки старшого віку,

мг),  $X_5$  (кількість самок бракона, %),  $X_6$  (середнє значення чистої репродукції самок бракона, екз.). Експертну оцінку ступеню впливу між кожною парою концептів формалізовано у відповідності з лінгвістичною оцінкою (таблиця): низька – 0,2; нормальна – 0,4; вища за нормальну – 0,6; висока – 0,8. Для візуалізації в інтерактивному режимі залежності вихідних концептів (рис.2) від вхідних використано пакет розширення FuzzyLogicToolboxMatlab і систему нечіткого висновку типу Мамдані. Середньоквадратичне відхилення між результатами експериментів [3] та нечіткого висновку складає: щодо  $X_2$  – 2,5 %,  $X_3$  – 4,8 %,  $X_4$  – 2 мг,  $X_5$  – 1,4 %,  $X_6$  – 3 екз.

Дані для побудови нечіткої когнітивної карти [3]

Вхідні та вихідні концепти	Діапазон змінювання концептів	Термножини	Лінгвістична оцінка	Тип і параметри функції належності
$X_1$	0-1	$AX_1$	Борошно пшеничне	Gaussmf [0,02; 0,1]
		$BX_1$	Борошно пшеничне (70%) + подрібнена соя (30 %)	Gaussmf [0,02; 0,3]
		$CX_1$	Подрібнений ячмінь (90 %) + борошно пшеничне (10%)	Gaussmf [0,02; 0,5]
		$DX_1$	Подрібнений ячмінь	Gaussmf [0,02; 0,7]
		$EX_1$	Подрібнена кукурудза	Gaussmf [0,02; 1]
$X_2, \%$	70-76	$AX_2$	Нормальна виживаність личинок бракона	Gaussmf [1,019; 70]
		$BX_2$	Вища за нормальну виживаність личинок бракона	Gaussmf [1,019; 76]
$X_3, \%$	27-72	$AX_3$	Низька зараженість гусениць млинової вогнівки	Gaussmf [7,644; 27]
		$BX_3$	Висока зараженість гусениць млинової вогнівки	Gaussmf [7,644; 72]
$X_4, \text{мг}$	18,9-28,9	$AX_4$	Низька маса гусениць млинової вогнівки	Gaussmf [1,699; 18,9]
		$BX_4$	Нормальна маса гусениць млинової вогнівки	Gaussmf [1,699; 25]
		$CX_4$	Висока маса гусениць млинової вогнівки	Gaussmf [1,699; 28,9]
$X_5, \%$	50-55	$AX_5$	Нормальна кількість самок бракона	Gaussmf [0,8493; 51]
		$BX_5$	Висока кількість самок бракона	Gaussmf [0,8493; 55]
$X_6, \text{екз.}$	10-29	$AX_6$	Низька репродукція самок бракона	Gaussmf [3,227;12]
		$BX_6$	Висока репродукція самок бракона	Gaussmf [3,227; 29]

Аналіз карти показав, що найкращий вплив на якість виробництва ентомофага бракон мають подрібнена кукурудза та подрібнений ячмінь - когнітивний консонанс є найвищим відповідно у концептів  $EX_1$  та  $DX_1$  (3,8). Найбільший розкид (когнітивний дисонанс) має концепт  $X_3$  (зараженість гусениць млинової вогнівки паразитом) – 3,4. Нечітка когнітивна карта для контролю виробництва ентомофага бракон дозволяє адекватно формалізувати вплив виду

поживного середовища комахи-хазяїна, надає можливість наочно простежити причинно-наслідкові зв'язки між вхідними та вихідними концептами та є інформаційною базою при формуванні стратегій керування виробництвом ентомофагів за критерієм якості продукції.

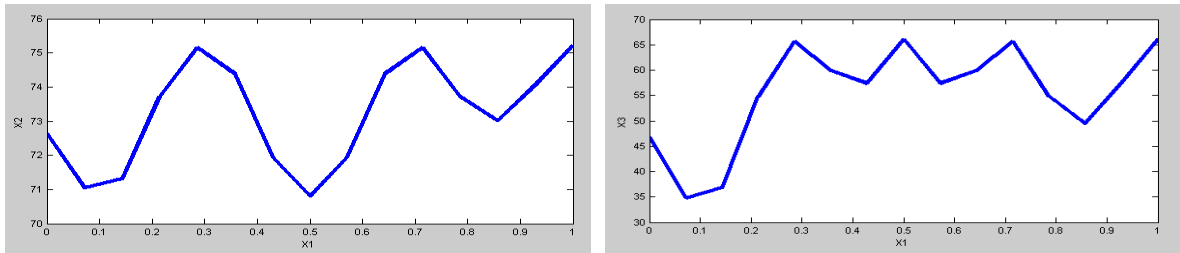


Рисунок 2 – Залежності середньої виживаності личинок бракона (а) та зараженості гусениць млинової вогнівки паразитом (в) від виду поживного середовища

### Література

1. Васильев В. И., Савина И. А., Шарипова И. И. Построение нечетких когнитивных карт для анализа и управления информационными рисками вуза. Уфа. Вестник УГАТУ. 2008. Т. 10. № 2(27). С. 199—209.
2. Гожий О. П. Побудова динамічних моделей на основі нечітких когнітивних карт для вирішення задач сценарного планування. Вісник ЛДУ БЖД. Львів. 2013. № 7. С. 13—17.
3. Молчанова Е. Д., Лешишак А. В., Шейкина Е. Б. Влияние кормового субстрата для выкармливания гусениц мельничной огневки на биологические показатели бракона. Матер. VI Междунар. науч. конф. Чтения памяти проф. И. И. Барабаш-Никифорова. ВГУ. 25 марта 2014 г. Воронеж. ВГУ. 2014. С. 105—108.

Лукинова Д. А., аспирантка,  
Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»  
Северин В. П., доктор технических наук, профессор,  
Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»  
Никулина Е. Н., кандидат технических наук, доцент,  
Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»

## ОПТИМИЗАЦИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ЯДЕРНЫМ РЕАКТОРОМ ВВЭР-1000

**Аннотация.** Представлены результаты математического моделирования систем автоматического регулирования мощности ядерного реактора ВВЭР-1000. Применены методы оптимизации прямых показателей качества систем автоматического регулирования мощности ядерного реактора с различными типами регуляторов.

**Ключевые слова:** энергоблок атомной электростанции, маневренный режим, система автоматического управления, прямые показатели качества, регуляторы, методы оптимизации.

Маневрирование мощностями энергоблоков атомных станций позволяет решать задачи энергоэффективности и энергосбережения, что в свою очередь является актуальной проблемой энергетической безопасности Украины. Добиться улучшения маневренных характеристик реакторной установки, зависящих от ее динамических свойств и систем автоматического регулирования (САР), возможно с помощью модернизации данной установки, чему предшествует комплексное моделирование всех систем. Улучшение динамических свойств САР реактора ВВЭР-1000 связано с оптимизацией прямых показателей качества (ППК) САР, к которым относятся перерегулирование, показатели колебательности и время регулирования [1].

Целью доклада является представление результатов математического моделирования систем автоматического регулирования мощности (САРМ) ядерного реактора ВВЭР-1000, а также оптимизации ППК с использованием векторных методов оптимизации.

Для достижения поставленной цели решаются задачи построения математических моделей реактора и его системы автоматического регулирования мощности, применения методов оптимизации прямых показателей качества САР с учетом условий устойчивости.

При построении нелинейных моделей реактора как объекта регулирования мощности учитываются нелинейные модели нейтронной кинетики, модели теплоотвода и реактивности.

Структурная схема САРМ включает сумматор, регулятор мощности (РМ), который формирует управляющее воздействие, подаваемое на исполнительный механизм (ИМ), модель реактора и отрицательную обратную связь. ИМ представлен инерционным звеном с передаточной функцией, зависящей от значения запаса реактивности на регулирование параметров движения поглощающего стержня.

Регуляторы, рассматриваемые в работе, могут состоять из пропорционального (П), интегрального (И) и дифференциального (Д) регуляторов, комбинируя которые определяются различные САРМ реактора – САРМ с ПИ регулятором, САРМ с ПД и ИД регулятором, САРМ с ПИД регулятором.

При решении задачи вычисления значений ППК – перерегулирования, размаха колебаний и времени регулирования, рассматривается векторная целевая функция, учитывающая ограничения варьируемых параметров, необходимые и достаточные условия устойчивости САР и требования к ее ППК. Для оптимизации векторной целевой функции модифицированы методы безусловной минимизации скалярных функций, в которых операция сравнения значений скалярных целевых функций заменена операцией сравнения значений векторных целевых функций. Например, использованный алгоритм векторного метода адаптации шага для минимизации скалярной целевой функции с одним переменным параметром отличается от

скалярного метода только одним шагом, на котором вместо операции «меньше» < для сравнения значений скалярной функции применяется операция «лучше» < для сравнения значений векторной функции [2, 3].

Для получения в линейных моделях САРМ реактора переходных процессов мощности без перерегулирования и колебательности с минимальным временем регулирования были заданы значения параметров задачи оптимизации ППК: допустимые значения перерегулирования и размаха колебаний, параметр зоны установившегося значения. Сформированная векторная целевая функция оптимизируется в случае одной переменной – векторным методом адаптации шага, а в случае нескольких переменных – векторным методом Нелдера-Мида [2, 3].

Результаты оптимизации ППК существенно зависят от модели нейтронной кинетики, поэтому при оптимизации ППК САРМ целесообразно применять наиболее полную модель с шестью группами запаздывающих нейтронов.

Анализируя полученные результаты оптимизации параметра РМ, можно сделать вывод, что И и ИД регуляторы приводят к большому значению времени регулирования, при оптимальных значениях параметров П и ПД регуляторов статическая ошибка превосходит 10 %. Также стоит отметить, что при одинаковой эффективности ПИ и ПИД регуляторов ПИ регулятор проще, он позволяет обеспечить высокое быстродействие САРМ.

При решении задачи оптимизации ППК нелинейных моделей САРМ с ПИ регулятором использованы различные значения уставки мощности, для которых получены оптимальные значения параметров регуляторов мощности и времени регулирования. С уменьшением значения уставки мощности время регулирования увеличивается.

**Выводы.** Рассмотрены математические модели ядерного реактора ВВЭР-1000 и его систем автоматического регулирования мощности с различными типами регуляторов мощности в пространстве состояний. Модифицированы методы оптимизации прямых показателей качества САР с учетом условий устойчивости, сводящаяся к оптимизации векторной целевой функции векторными методами оптимизации. В результате проведенных исследований выполнена оптимизация ППК САРМ реактора с различными типами регуляторов, что показало наибольшую эффективность ПИ регулятора. Оптимизация ППК моделей САРМ ядерного реактора ВВЭР-1000 позволит существенно улучшить в них процессы регулирования.

### Литература

1. Северин В. П. Математическое моделирование и оптимизация показателей качества систем автоматического регулирования реакторной установки. Ядерная и радиационная безопасность. 2007. Т. 10. Вып. 2. С. 66—77.
2. Никулина Е. Н., Северин В. П. Многокритериальный синтез систем управления реакторной установки путем минимизации интегральных квадратичных оценок. Ядерная и радиационная безопасность. 2009. Т. 12. Вып. 2. С. 3—12.
3. Северин В. П., Никулина Е. Н., Лютенко Д. А. Анализ и синтез систем управления энергоблока АЭС для маневренных режимов эксплуатации. Матеріали ХХІІІ міжнародної конференції з автоматичного управління «Автоматика 2016». 22-23 вересня 2016 року. м. Суми. НАН України ін-т кібернетики ім. В. М. Глушкова. Сумський державний ун-т. Суми. СумДУ. 2016. С. 63—64.

## РОБАСТНО-АДАПТИВНІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ОБ'ЄКТАМИ

**Анотація.** Пропонується поєднання адаптивної системи керування з еталонною моделлю та робастний регулятор для об'єкта, що має суттєві параметричні структурні невизначеності. Дослідження шляхом моделювання показали ефективність запропонованої системи, так як перехідні процеси мають кращу якість та меншу витрату енергоносіїв.

**Ключові слова:** об'єкт керування, робастний регулятор, адаптивна система, еталонна модель.

Підвищення якості в системі керування для промислових об'єктів на сьогодні залишається одним з головних завдань проєктанта системи автоматизації. Особливо це актуально для технологічних об'єктів, що функціонують в умовах параметричних та структурних невизначеностей, де зміна характеристик об'єкта в замкненій системі керування може призвести до значного погіршення якості перехідних процесів, а іноді і до втрати стійкості. Основними методами синтезу регуляторів для систем з невизначеностями є використання адаптивних, робастних та інтелектуальних підходів. Сьогодні все більше наукових та прикладних розробок для об'єктів з суттєвими невизначеностями присвячено поєднанню робастних алгоритмів з алгоритмами адаптивного, нейромережевого, нечіткого, системами з переключенням, а іноді і все разом [1-2]. Все це роз'яснюється, по-перше спробами підвищення якості системи в номінальному режимі, по-друге, зведенням складних математичних викладок синтезу робастних систем до візуального простого структурного оформлення, зрозумілого простому інженеру.

Метою роботи є дослідження ефекту покращення якості та стійкості перехідних процесів при введенні робастного регулятора, що синтезований за  $H_\infty$ -критерієм, в структуру адаптивної системи керування з еталонною моделлю для об'єкта з суттєвими невизначеностями.

Структурна схема системи керування з робастно-адаптивним регулятором зображена на рис. 1. В якості об'єкта керування обрано три аперіодичні ланки третього порядку з 50%-ою зміною параметрів, регулятор – пропорційно-інтегральний, при чому для робастно-адаптивної системи його налаштування розраховувалися за методом негладкого синтезу [3].

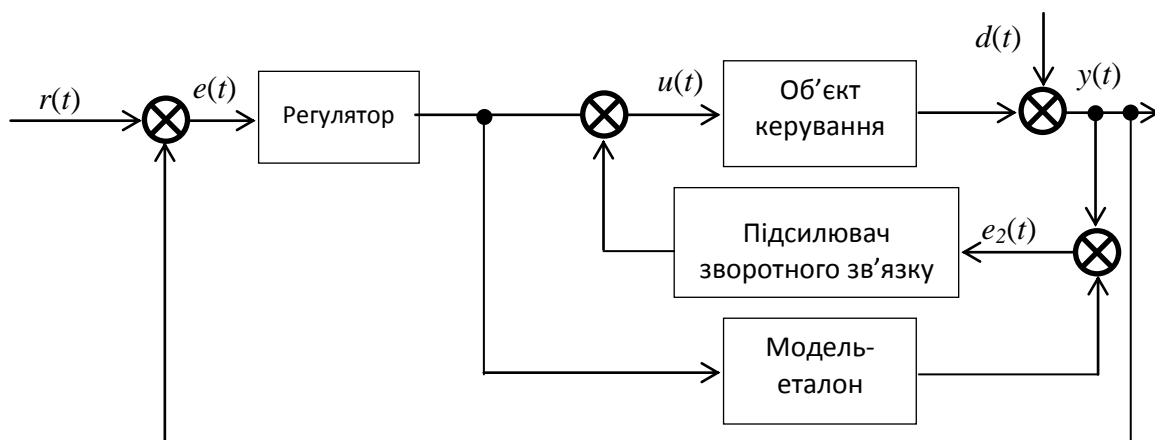


Рисунок 1

Перехідні процеси та керування наведені на рис. 2, причому 1 – відповідає системі з локальним ПІ-регулятором та об'єктом з номінальними значеннями невизначеностей; 2 – система з локальним ПІ-регулятором та найгіршими комбінаціями невизначеностей об'єкта; 3 – система з адаптивним регулятором та найгіршими комбінаціями невизначеностей об'єкта; 4 – система з робастним регулятором найгіршими комбінаціями невизначеностей об'єкта; 5 – система з робастно-оптимальним регулятором та найгіршими комбінаціями невизначеностей об'єкта. Як бачимо при найгірших комбінаціях невизначеностей в об'єкті перехідні процеси з робастно-оптимальним регулятором мають найменшу динамічну похибку, час перехідного процесу та мінімальні затрати на керування.

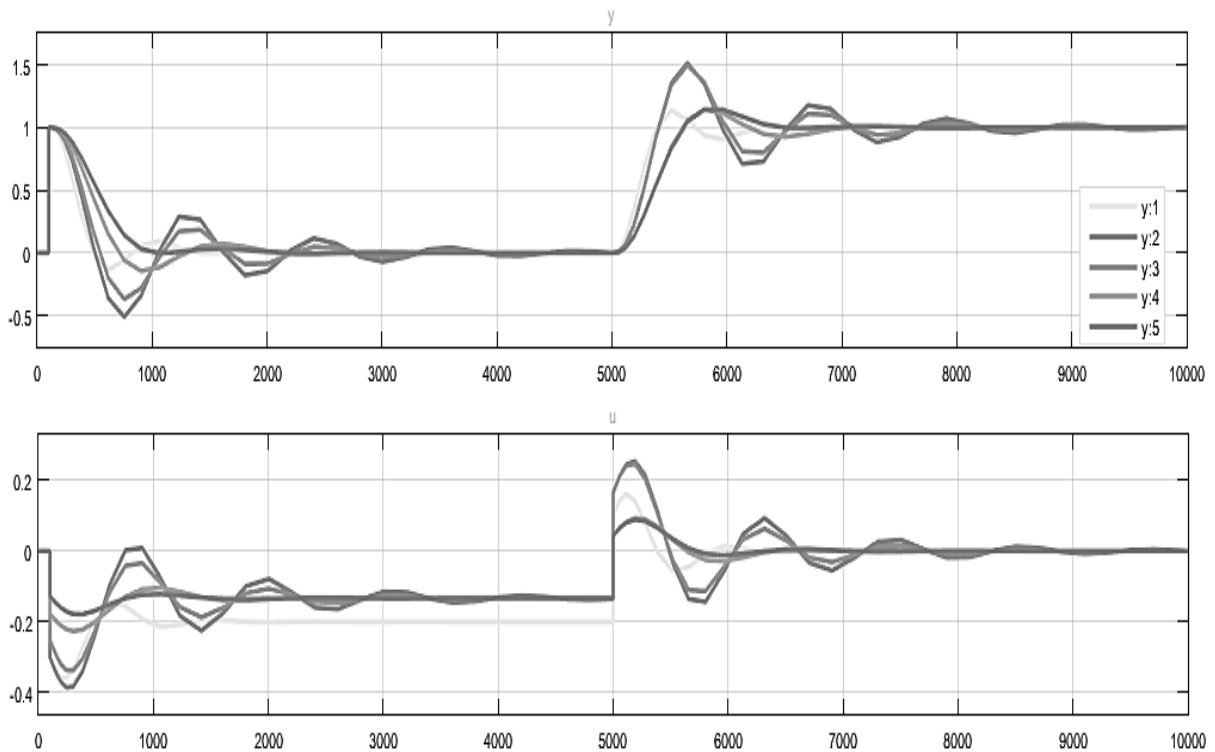


Рисунок 2

### Література

1. Методы классической и современной теории автоматического управления: учебник в 3-х т. Т. 3: Методы современной теории автоматического управления. Под ред. Н. Д. Егупова. Москва. Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана. 2000. 748 с.
2. Morari M., Zafiriou E. Robust process control. Prentice Hall. 1989. 488.
3. Apkarian P., D. Noll and D. Alazard Controller Design via Nonsmooth Multi-Directional Search. IFAC Conf. on System Structure and Control. Oaxaca. Mexico. Dec. 2004.

## УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АСУ БАРАБАННОГО КОТЛА ДЛЯ СЖИГАНИЯ ГОРЮЧИХ ИСКУССТВЕННЫХ ГАЗОВ

**Аннотация.** Рассмотрена возможность использования искусственных газов в качестве топлива вместо природного газа для энергетического барабанного котла. Решения основаны как на использовании дополнительных технических средств, так и типовой системы управления тепловой нагрузкой.

**Ключевые слова:** барабанный котел, автоматическая система управления, искусственные горючие газы, технологический участок, регулирующий орган.

Для современного украинского государства, с учетом особенностей его географического положения и наличия определенного вида энергоресурсов, перспективным направлением развития энергетической отрасли может стать реализация малозатратных и быстро окупаемых мероприятий, позволяющих без привлечения значительных средств, в кратчайшие сроки уменьшить потребление топлива и электроэнергии [1]. К таким мероприятиям можно отнести использование на существующих парогенераторах, работающих на органическом топливе, новых структурных схем систем автоматического управления [2], которые позволят без существенной модернизации оборудования использовать в качестве топлива горючие искусственные газы.

В настоящее время в Украине на тепловых электростанциях, оснащенных барабанными котлами, промышленных и теплофикационных котельных для поддержания заданной производительности пара используется типовая автоматическая система управления (АСУ) тепловой нагрузки [3]. Задача АСУ тепловой нагрузки состоит в поддержании заданного давления перегретого пара, когда барабанный котел работает в регулирующем режиме или заданного расхода перегретого пара, когда котел работает в базовом режиме.

Способность АСУ тепловой нагрузки с сигналом по тепловыделению компенсировать внутритопочные возмущения удельной теплотой сгорания топлива ограничена пропускной способностью регулирующего органа (РО), которая не превышает 20% от номинального расхода природного газа. Также необходимо учитывать плотность и теплотворную способность искусственных газов, которые могут отличаться от аналогичных свойств природного газа ( $\rho_{\text{ПГ}}=0,68\div0,85\text{кг/м}^3$ ,  $Q_{\text{Н}}^{\text{ПГ}}=28\div46\text{МДж/м}^3$ ) как в большую, так и меньшую сторону (табл. 1).

Таблица 1

Отношение тепловыделения природного газа к тепловыделению искусственного газа

Газ	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Теплотворная способность, МДж/м <sup>3</sup>	$Q_{\text{T}}^{\text{ПГ}} / Q_{\text{T}}^{\text{ИГ}}$	Превышение пропускной способности, %
Коксовый	0,342	17,58	1,41	21
Сланцевый	1,040	13,85	3,11	191
Генераторный	0,576	15,70	2,04	84

Если принять, что давление газа в газопроводе поддерживается постоянным, то тепловыделение в топочной камере при полностью открытом РО будет зависеть только от плотности газа и его теплотворной способности. Отношение тепловыделения природного газа  $Q_{\text{T}}^{\text{ПГ}}$  к тепловыделению искусственного газа  $Q_{\text{T}}^{\text{ИГ}}$  позволяет определить потенциальную возможность использования существующего котельного оборудования для сжигания альтернативного газообразного топлива:

$$\frac{Q_{\text{T}}^{\text{ПГ}}}{Q_{\text{T}}^{\text{ИГ}}} = \frac{Q_{\text{Н}}^{\text{ПГ}}}{Q_{\text{Н}}^{\text{ИГ}}} \sqrt{\frac{\rho_{\text{ИГ}}}{\rho_{\text{ПГ}}}} \quad (1)$$



Результаты расчета показывают (табл. 1), что пропускная способность РО не обеспечит необходимый расход искусственного газа в топочную камеру, и барабанный котел не сможет выйти на номинальную генерацию пара.

Таким образом, возникает научно-техническая задача по расширению (в сторону увеличения) диапазона управляющего воздействия АСУ тепловой нагрузкой с сигналом по теплоте, с целью использования в качестве топлива искусственных газов, когда пропускная способность регулирующего органа не в состоянии обеспечить подачу на горелочные устройства необходимого количества искусственного газа.

Одним из способов увеличения пропускной способности регулирующего органа является увеличение перепада давления на нем. Технически этого можно достичь, если искусственный газ подавать на горелочные устройства с помощью компрессора, который за счет повышения давления газа перед полностью открытым регулирующим органом, увеличивает расход и, таким образом, компенсирует его низкую теплотворную способность и (или) большую плотность.

Для решения поставленной задачи на основании структурного анализа была определена передаточная функция устройства связи (УС), которое должно управлять производительностью газового компрессора таким образом, чтобы после исчерпания пропускной способности РО, компрессор увеличил подачу искусственного газа в топочную камеру по сигналу от регулятора расхода топлива и это не привело бы к снижению качества регулирования:

$$W_{УС}(S) = \frac{Q_T^{III} K_{PO} (T_{ГП} S + 1)}{Q_T^{III} K_K \left( \frac{T_K}{K_K} S + 1 \right)}, \quad (2)$$

где:  $T_{ГП}$  – инерционность газопровода,  $T_K$  – динамическая постоянная компрессора,  $K_K$  – коэффициент передачи между числом оборотов компрессора и объемным расходом искусственного газа,  $K_{PO}$  – постоянный коэффициент, определяющий максимальный расход газа на горелочные устройства.

Расположение компрессор как можно ближе к котельному оборудованию и ввиду малой инерционности газовых компрессоров позволяет упростить передаточную функцию УС:

$$W_{УС}(S) \approx Q_T^{III} K_{PO} / Q_T^{III} K_K. \quad (3)$$

Упрощенная передаточная функция УС является пропорциональным звеном, однако наличие в выражении (3) значений теплотворных способностей природного и искусственного газов накладывают следующие ограничения для использования такой АСУ – в качестве топлива должен использоваться один вид искусственного газа или АСУ должна быть дополнена устройством, определяющим химический состав сжигаемого газа, а производительности дымососа и дутьевого вентилятора по нагнетанию воздуха в топку и удалению дымовых газов достаточно для качественного сжигания газо-воздушной смеси.

Таким образом, решена задача по замене дорогого природного газа на дешевый искусственный газ для использования в качестве топлива в барабанном котле.

### Литература

1. Яковлев В. А. Испытания работы газогорелочного устройства с принудительной подачей воздуха и щелевой камерой. Фундаментальные исследования. 2016. № 9. С. 299—306.
2. Канюк Г. И., Мезеря А. Ю., Сук И. В., Бабенко И. А., Близниченко Е. Н. Разработка системы автоматического управления паровыми котлами электростанций при сжигании низкосортных топлив. Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2016. № 2(84). С. 44—51.
3. Плетнев Г. П. Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике. Москва. МЭИ. 2007. 352 с.

Лысюк А. В., инженер,  
Одесский национальный политехнический университет  
Беглов К. В., кандидат технических наук, доцент,  
Одесский национальный политехнический университет

## ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ ГРУППЫ КОТЕЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ ПРИ СЖИГАНИИ НЕСЕРТИФИЦИРОВАННОГО ТОПЛИВА

**Аннотация.** В работе ставится задача оптимального распределения тепловой нагрузки между котлоагрегатами сжигающих несертифицированное топливо. Одним из слагаемых, входящих в критерий оптимальности, является надежность работы оборудования.

**Ключевые слова:** тепловая нагрузка, несертифицированное топливо, оптимизация, ресурс оборудования.

В настоящее время на некоторых предприятиях, имеющих свои производственно-отопительные котельные вынуждены использовать несертифицированное топливо вместо проектного.

Особенностью несертифицированного топлива является изменение его химического состава в широких пределах в течение коротких промежутков времени. Изменение состава топлива приводит к изменению его теплотворной способности и, соответственно, к значительным изменениям расхода такого топлива для обеспечения заданной теплопроизводительности котельных агрегатов [1, 2].

Так как котельные всегда проектируются с запасом по мощности, нормальной ситуацией при эксплуатации является работа котлоагрегатов на частичной мощности. Причем известно, что при уменьшении нагрузки котлоагрегата уменьшается его КПД [3]. С другой стороны, увеличение нагрузки котлоагрегата приводит к увеличению его износа. Величина износа, в конечном итоге, влияет на надежность эксплуатации оборудования.

Следовательно, целью данной работы является разработка алгоритма оптимального распределения тепловой нагрузки между единицами оборудования для сжигания топлива с переменной калорийностью.

В работе [4] уже рассматривалась данная задача. Однако предложенные в указанной работе величины, входящие в критерий эффективности, имеют значения в диапазоне от  $4,1e^{-312}$  до  $4,4e^{-312}$ . Такие значения вызывают сомнения в их применимости.

В данной работе предлагается использовать значения КПД котла и коэффициент износа оборудования, который определяется по аналогии с определением величины амортизационных отчислений [5].

### Література

1. Joua C.-J. G., C.-L. Leeb, C.-H. Tsai, H. P. Wang, M.-L. Lina. Enhancing the performance of a high-pressure cogeneration boiler with waste hydrogen-rich fuel. International Journal of Hydrogen Energy. 2008. Vol. 33. Issue 20. 5806-5810.
2. Maksimov M. V., V. F. Lozhechnikov, T. S. Dobrovolskaya, A. V. Bondarenko. Mathematical model of non-certified burning fuels. East European journal of advanced technologies. 2014. Vol. 2. No 8 (68). 44-52. Mode of access: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/22420/21760>.
3. Thermal calculation of boiler aggregates. Regulatory method. Ed. 3, revised and enlarged. VTI, NPO CKTI. Saint Petersburg. 1998.
4. Dobrovolskaya T. S. determination of the optimal algorithm of equipment operation using dynamic programming. East European journal of advanced technologies. 2014. Vol. 5. No 8 (71). 53-58. Mode of access: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/28017/25459>.
5. Economics of enterprise : Textbook / For zag. edited by S. F. Pokerbingo. 2-e Izd., Rev. and DOP. Kiev. KNEU. 2000. 528.

## МОДЕЛЬ ДОСЯГНЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО СТАНУ ОБ'ЄКТУ, ЩО ОБРОБЛЯЄТЬСЯ В РОСЛИННИЦТВІ

**Анотація.** Мета – підвищення ефективності рослинництва на основі керованого розвитку рослин. Запропоновані структура та модель оперативного управління якістю виконання технологічними процесами в рослинництві. Принципове збільшення виходу сільськогосподарської продукції з одиниці оброблюваної площі можливе при впровадженні інтелектуальних технологій виробництва, ключовою задачею створення яких є формалізація бази знань.

**Ключові слова:** рослинництво, фазовий стан, база даних, інтелектуальне управління.

**Проблема.** Подальше підвищення ефективності рослинництва потребує впровадження новітніх технологій на основі керованого розвитку рослин. Мова йде про необхідність керованого переведення умов одержання урожаю з одного дійсного багатofакторного фазового стану в інший визначений стан у процесі виконання будь-якої технологічної операції.

**Результати.** Створення технічної системи з керованою якістю виконання технологічних процесів полягає в доданні до базової системи керування машинно-тракторним агрегатом контуру оперативного керування (рис.1). Додатковий контур оперативного керування повинен виконувати наступні функції: отримання поточної інформації про стан поля  $I_{Pi}(t)$  за основним і додатковими параметрами та про режими роботи робочого органу  $I_{Mi}(t)$  у процесі виконання технологічної операції; визначення дійсного значення показника якості  $I_{Aj}(t)$ , порівняння його з бажаним (розрахованим) та формування вектора зміни фазового стану контрольованого параметра з врахуванням зовнішнього впливу; розробка алгоритму керування процесом переходу об'єкта в заданий фазовий стан; обчислення відповідної управляючої дії  $U_{Ti}(t)$ , або сигналу оператору на зміну параметрів робочого органу (управляючого пристрою)  $U_{Oi}(t)$  для досягнення бажаного показника якості.

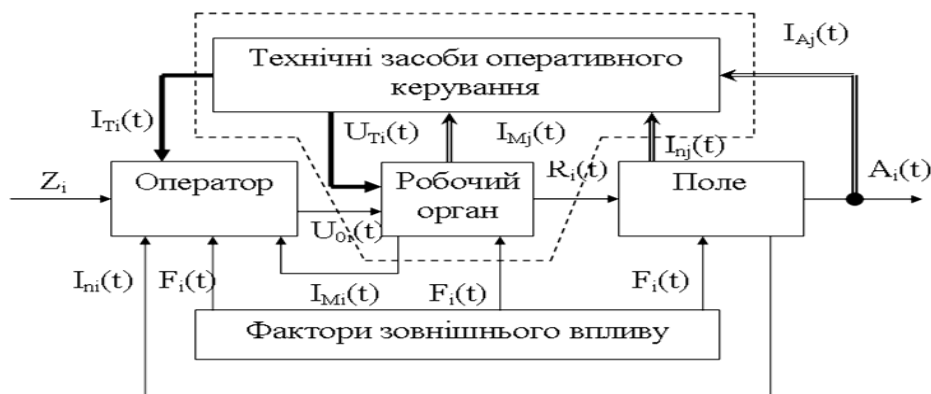


Рисунок 1 – Модель системи „людина – засоби оперативного керування – машина – поле” з керованою якістю виконання технологічних операцій

При цьому оптимальне керування слід шукати не у формі  $U = U(t)$ , а у формі  $U = V(x)$ , тобто оптимальне керування у кожний момент залежить від того, у якій точці простору знаходиться в даний момент фазова точка об'єкта впливу. Якщо, наприклад, мова йде про внесення оптимальної дози добрив, то при формуванні керуючої дії необхідно враховувати не лише ефективну дію даної норми добрив на відповідну культуру на тому чи іншому полі, але і

динаміку забезпечення ґрунту цими поживними елементами протягом певного часу кожної характерної ділянки цього поля та інше.

Відносно показника якості, що піддається керуванню, узагальнений об'єкт управління може бути описаний наступним рівнянням:

$$y^{(n)} + \sum_{i=0}^{n-1} a_i(t)y^{(i)} = \sum_{j=0}^m b_j(t)x^{(j)}, \quad (1)$$

де:  $x$  – керуюча дія;  $y$  – вихідна координата показника якості;  $a_i(t)$ ,  $b_j(t)$  – перемінні у часі коефіцієнти.

Аналіз розвитку систем автоматизації керування процесами в передових галузях виробництва і техніки показує, що ці системи виходять практично на рівень роботизованих комплексів на основі перших двох рівнів теорії штучного інтелекту. Базовий рівень – це теорія обчислень (нейронні мережі), яким властиве самовдосконалення – сприйняття інформації, фізична взаємодія з навколишнім середовищем. Наступний рівень – теорія логіки – дедукція, індукція, підтримка істини, моделі мислення та інше. В загальному вигляді такий комплекс має структуру, яка представлена на рис. 2.

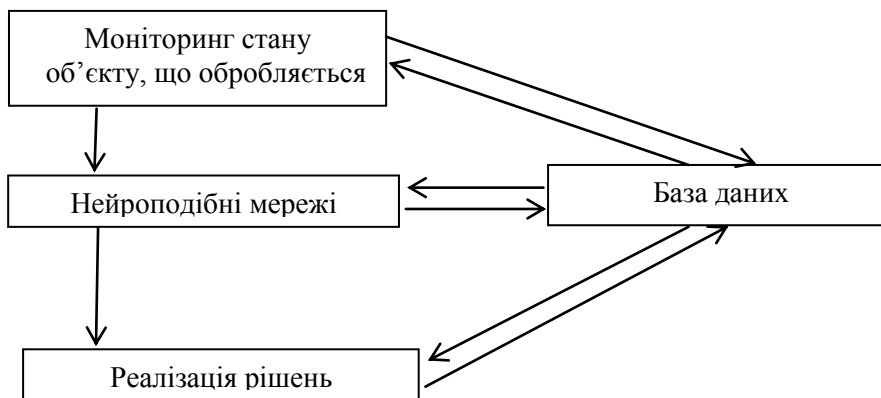


Рисунок 2 – Структура інтелектуальної складової системи автоматичного керування технологічним процесом

Центральним елементом структури інтелектуальної складової системи автоматичного керування технологічним процесом є багатомірні нейроподібні мережі, які можуть бути представлені у взаємодії трьох основних блоків:

- блок прийняття і переробки інформації (сенсорна система);
- блок модуляції (моделююча система);
- блок програмування, запуску і контролю виконавчих дій (моторна система).

Однією з найбільш складних задач створення інтелектуальних систем управління технологічними процесами сільськогосподарського виробництва, на сьогодні, є формалізація відновлювальної бази знань з даної предметної області. Серед класичних схем її побудови може бути метод поступових наближень. В основі лежить створення рішень, що змагаються між собою. Невдалі відкидаються, перспективні виживають і відроджуються шляхом створення нових рішень з частин успішних «батьків» (в техніці – потенціал нарощується або зменшується). Виявлені помилки приводять до корекції та нарощування бази знань. Якщо прототип стає дуже об'ємним – від нього відмовляються, але в процесі, частіше всього, створюється більш прозора версія зі значно меншим числом правил.

**Висновок.** Досягти принципового збільшення виходу сільськогосподарської продукції з одиниці оброблюваної площі можна при впровадженні інтелектуальних технологій виробництва, ключовою задачею створення яких є формалізація бази знань.

## ДОСВІД ДОЗУВАННЯ СИПУЧИХ КОМПОНЕНТІВ В СУЧАСНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

**Анотація.** Існує проблема дозування сухих компонентів вага яких в сукупності від 20 г до 30 кг. Розглянуті алгоритми дозволять забезпечити набір матеріалів заданої ваги з максимальною точністю.

**Ключові слова:** дозування, адаптивний алгоритм, сипучі компоненти.

Проблема заключається в недостатній точності дозування сипучих речовин в сучасних умовах за звичайними алгоритмами. Дослідження проводилися з допомогою обладнання фірми M-tec та Siemens. Установка складається з 6 шнеків, вагового дозатора і пристрою для відвантаження повітряним способом під тиском. Всі двигуни шнеків під'єднані до одного частотного перетворювача. Дослідження проводилися з допомогою тензOMETричного перетворювача ESIT, та ваговимірювального процесора SIWAREX U (одноканальний). Похибка первинного перетворювача не перевищує 1% від діапазону вимірювання, який становить 0 – 30000 г.

На час дослідження було порівняно результати звичайного дозування, а також дозування на основі адаптивного алгоритму з компенсацією висоти падаючого стовпа [1].

Дослідження проводилися з допомогою аналогового і дискретного керування частотним перетворювачем з визначенням продуктивності кожного шнека для матеріалів різної щільності. При цьому враховуються додатково значення кроку шнека, коефіцієнта наповненості, діаметру шнеку, висоти падіння матеріалу.

В результаті використання вагової функції в програмі контролера отримані поточні значення ваги матеріалу по кожному шнеку, значення продуктивності шнеку в кожен момент проходження процесу набору ваги.

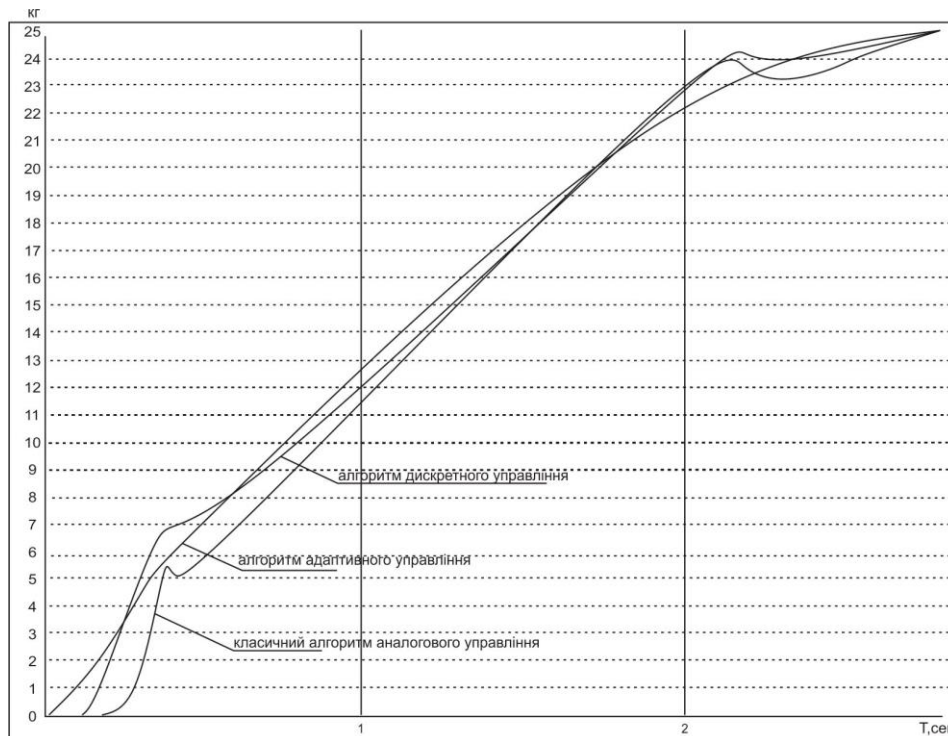


Рисунок 1 – Порівняння алгоритмів дозування сипучих речовин

Додатково використаний адаптивний алгоритм дозування, що показав кращі результати звичайних способів регулювання.

Таким чином, при використанні дискретного управління було виведено два режими: грубого і тонкого потоку. Частота при цьому відрізнялася на 23 Гц.

Похибка вимірювання складала 1,2% від заданої ваги при дискретному управлінні.

У випадку з дослідженнями аналогового управління відбувся динамічний набір від більшого значення частоти частотного перетворювача до меншого. Похибка при цьому становила 1,1%.

**Висновок.** Використання алгоритму адаптивного управління дозволить зменшити похибку вимірювального значення з більш плавним процесом управління, що дозволить продовжити час використання обладнання до його виведення з ладу.

#### Література

1. Першин В. Ф., Капитонов Е. Н., Дервякин Н. А. К расчету точности дозирования. Каучук и резина. 2003. № 10. С. 44—45.

**Осадчий С. І.**, доктор технічних наук, професор,  
Центральноукраїнський національний технічний університет  
**Зубенко В. О.**, кандидат технічних наук, доцент,  
Центральноукраїнський національний технічний університет  
**Якорєва М. В.**,  
Центральноукраїнський національний технічний університет

## СИНТЕЗ КОМБІНОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ КОРОТКОЦИКЛОВОЇ АДСОРБЦІЇ

**Анотація.** Задача проектування системи керування процесом адсорбції оксидів вуглецю з харчового водню зведена до синтезу оптимальної багатовимірної комбінованої системи стохастичної стабілізації. Система стабілізації складається з двох контурів керування. Перший функціонує за сигналами про зміну вмісту оксидів вуглецю, а другий контур працює за сигналом про зміну тиску водню у ресивері.

**Ключові слова:** адсорбція, ефективність, стабілізація, синтез, максимізація.

Розгляд багатьох літературних джерел, наприклад [1], дозволяє зробити висновок про те, що адсорбція сьогодні найбільш якісний метод виділення з газової суміші певного компонента. Притакомуспособі очищення газу концентрації домішок залежать лише від якості початкового продукту, технології адсорбції та методу керування процесом адсорбції. При заданій технології виробництва газу ефективність адсорбції визначається якістю процесу керування.

Мета дослідження полягає у підвищенні ефективності коротко циклової адсорбції (КЦА) оксидів вуглецю з харчового водню шляхом оптимізації точності стабілізації його складу. Для досягнення цієї мети вивчена функціональна схема існуючої установки для КЦА та обґрунтована нова структурна схема системи стабілізації з двома контурами. Аналіз цієї схеми та результатів спостереження за процесом адсорбції дозволив привести завдання дослідження до синтезу оптимальної багатовимірної комбінованої системи стабілізації.

В результаті поширення дії експериментально-аналітичного методу створення систем стабілізації у частотній області [2] на випадок синтезу системи з частково контрольованим збуренням отримано новий спрощений алгоритм визначення структури та параметрів матриці передавальних функцій багатовимірного регулятора.

Застосування обґрунтованого алгоритму до ідентифікованої лінеаризованої моделі динаміки процесу короткоциклової адсорбції [3] дозволило знайти блочну матрицю передаточних функцій регулятора. Увімкнення такого регулятора до системи забезпечує її стійкість та гарантує досягнення екстремуму обраним показником якості.

Аналіз залежності вмісту домішок у харчовому водні, отриманому в результаті КЦА, керованої оптимальною системою стабілізації, показав що глобальний мінімум критерію якості адсорбції залежить від двох чинників. Перший – це обмеження на зміну періоду КЦА, а другий – це співвідношення сигнал-шум. Обмеження на зміну періоду КЦА визначає розташування екстремуму, а співвідношення сигнал-шум впливає на рівень екстремуму.

### Література

1. Матвейкин В. Г., Погонин В. А., Путин С. Б., Скворцов С. Л. Математическое моделирование и управление процессом короткоцикловой безнагревной адсорбции. Москва. Машиностроение. 2007. 140 с.
2. Азарсков В. Н., Блохин Л. Н., Житецкий Л. С. Методология конструирования оптимальных систем стохастической стабилизации неустойчивых динамических объектов. Київ. НАУ. 2006. 437 с.
3. Осадчий С. І., Якорєва М. В., Зубенко В. О. Ідентифікація лінеаризованої моделі динаміки процесу короткоциклової адсорбції. Проблеми інформаційних технологій. Херсон. ХНТУ. №2 (018). 2015. С. 19—24.

## АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ СТАНЦІЇ ДЕФЕКОСАТУРАЦІЇ З МОДУЛЕМ КООРДИНАЦІЇ

**Анотація.** Описано підхід та вимоги до розробки структури модуля координації автоматизованої системи керування станцією дефекосатурації, призначення якого направлено на координацію роботи станції дефекосатурації і суміжних відділень цукрового заводу. Задачею такої системи являється прогнозування взаємодій та узгодження взаємодій між відділеннями заводу та системами керування.

**Ключові слова:** система цукровий завод, дефекосатурація, АСУТП, модуль координації відділень.

Якість функціонування системи в цілому залежить від ефективного функціонування підсистем кожного рівня, а також від якості взаємодій підсистем між собою. Тому розробляючи підходи до аналізу та проектування систем необхідно звертати особливу увагу на місця стику суміжних підсистем як технічних так і підсистем управління.

Процес функціонування ТК цукрового заводу і систем керування ним дає можливість стверджувати, що в загальному випадку виникає задача координації роботи керованих підсистем. Тільки в цьому разі можна забезпечити найкращі техніко-економічні показники функціонування автоматизованих ТК.

Для ефективного функціонування системи керування ТК важливими є умови координованості та сумісності підзадач керування. Ці умови гарантують розв'язання загальної задачі, якщо існує розв'язок кожної з підзадач. Структуру ТК показано на рис. 1.



Рисунок 1 – Структурна схема управління а також матеріальні потоки станції дефекосатурації і суміжних ділянок

Суміжними для станції дефекосатурації є дифузійна станція, випарна станція і ваняково-випалювальне відділення. Кожна суміжна станція, включаючи станцію дефекосатурації управляється за допомогою своєї автоматизованої системи управління відповідно – АСУТП дифузії, АСУТП дефекосатурації, АСУТП випарної станції і АСУТП ваняково-випалювального відділення. Кожною системою управління керує відповідний оператор.

Економічність екстрагування зі відкачування збільшується (зменшуються втрати цукру), а економічність випарювання зменшується – оскільки при цьому витрачається більша кількість палива (1).

$$\begin{cases} S = DF \frac{c-c}{d/4} \tau \\ W = A(1 - \frac{r_1}{r_2}) \end{cases} \quad (1)$$



де:  $S$  – кількість продифундованої речовини, середня концентрація нормального соку всередині стружки за весь час її висолоджування,  $c$  – середня концентрація соку зовні стружки,  $D$  – коефіцієнт дифузії,  $F$  – поверхня дифундування,  $\tau$  – час,  $W$  – маса витраченої пари, витраченої на випарювання 1 кг соку,  $A$  – маса очищеного соку,  $r_1$  – початковий вміст сухих речовин у соці,  $r_2$  – необхідний вміст сухих речовин у згущеному сиропі.

Якщо для координованих підсистем відомі критерії оптимальності й вони мають вигляд інтегральної функції:

$$I_i = \int_0^t F(X, U, Z, t) dt \rightarrow 0 \quad (2)$$

то найпростішим способом керування ТК є адитивна функція згортки:

$$I_{TK} = \sum_{i=1}^N I_i \rightarrow 0 \quad (3)$$

Для реалізації розв'язку задачі координації розроблено структуру блока координації відділень БКВ (рис. 2). На підставі інформації, що вводиться в керуючий обчислювальний комплекс БКВ, в математичній моделі ММ відповідного відділення розраховуються значення функцій оптимального керування згідно математичної моделі. Блок оптимального пошуку БОП уточнює параметри координат і видає результати розв'язання задачі на блок координації відділень, який розв'язує загальну задачу координації між відділеннями. Результати розв'язання задачі передаються на відповідні локальні регулятори, змінюючи їх уставки та параметри налаштування.

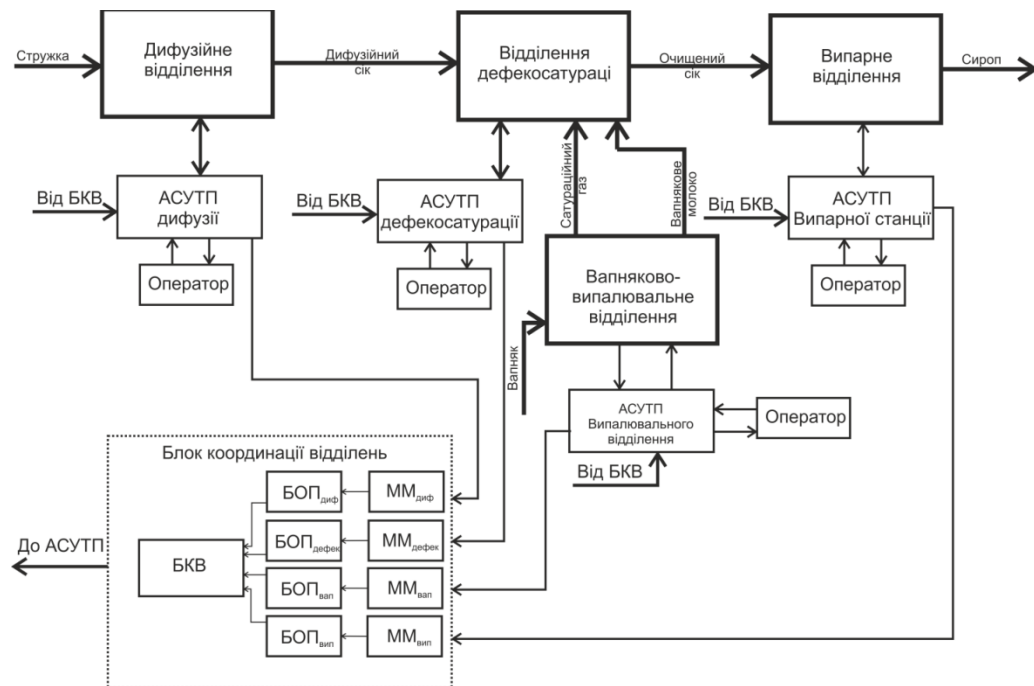


Рисунок 2 – Структура розробленого блока координаційних відділів

Отже система керування повинна бути адаптована до змін цілей, наборів і точності значень параметрів, а особливо при зміні режимів роботи однієї ділянки та вплив її на роботу інших.

### Література

1. Сідлецький В. М., Ельперін І. В., Полупан В. В. Аналіз не вимірюваних параметрів на рівні розподіленого керування, для автоматизованої системи, об'єктів та комплексів харчової промисловості. Наукові праці Національного університету харчових технологій. Т. 22. № 3. 2016. С. 7—15.
2. Ладанюк А. П., Смітюх Я. В., Власенко Л. О. Системний аналіз складних систем управління: навчальний посібник. Київ. НУХТ. 2013. 274 с.
3. Полупан В. В., Сідлецький В. М. Структура автоматизованої системи розширеного керування для координації суміжних станцій цукрового заводу. Наукові праці Національного університету харчових технологій. 2017. С. 16—25.

Пригула М. Г., кандидат фізико-математичних наук,  
Центр математичного моделювання  
Пасічник О. А.,  
Проектно-конструкторське технологічне бюро з автоматизації  
систем управління на залізничному транспорті України

## ОПТИМАЛЬНЕ КЕРУВАННЯ РУХОМ ПОЇЗДІВ В СИСТЕМАХ ФОРМУВАННЯ ГРАФІКІВ

**Анотація.** Запропоновано підхід до розрахунку прогнозованої траєкторії швидкості руху на основі ідентифікації параметрів моделей і окремих параметрів вектору управління в процесі його переміщення. Він забезпечує адаптацію до реальних умов експлуатації, уточнює параметри моделей, як різнотипних тягових засобів так і вагонів. Розроблено алгоритм управління рухом поїзду, який дає можливість постійно актуалізувати інформацію про наявний реальний ресурс управління і його оптимально розподіляти протягом розрахунку всієї траєкторії швидкості руху поїзду. Такий підхід забезпечив постановку та реалізацію алгоритму розроблення графіку руху поїздів та забезпечив його оптимальність та заданий рівень безпечності.

**Ключові слова:** модель руху поїзду, керування, графік руху, адаптація, інформаційне забезпечення, оптимізація.

На дорогах Укрзалізниці задіяна значна кількість одиниць рухомого складу, значні людські, технічні, технологічні та енергетичні ресурси. Для їх ефективного використання необхідно оптимізувати організацію вагону та поїздопотоків, що вимагає розв'язання цілого комплексу взаємопов'язаних задач. До основних задач слід віднести: розробка системи оптимального управління роботою станцій і груп станцій поєднаних технологічно; розробка системи оперативного оптимального плану формування поїздів; розробка системи автоматизації процесу побудови оперативних та нормативних графіків руху поїздів. Для розв'язування вказаних задач розроблено інформаційне забезпечення та розв'язаними базовими задачами - розрахунок оптимальних режимних параметрів руху поїзда, розрахунок параметрів безпеки руху (міжпоїзних і станційних інтервалів, ворожостей на станціях), розрахунок пропускної та переробної спроможності станцій із використанням її динамічної моделі [1, 2, 3].

Інформаційна підтримка задач формується на етапах побудови граф схем залізниць і станцій засобами розробленого спеціального графічного редактора та створення інтегрованої інформаційної бази даних технічних параметрів об'єктів залізниці з одночасною побудовою графічної схеми залізниці. Інформаційне середовище містить дані про технічні характеристики локомотивів і вагонів, їх інформаційні та математичні моделі а також характеристику типових поїздів. Для повноти відображення властивостей роздільних пунктів є можливість створити схему роздільного пункту в об'єктах. Зважаючи на велику кількість станцій, постійні зміни в технічному, технологічному та ресурсному їх забезпеченні зумовили розробити спеціальні програмні інструменти як для автоматизації розробки моделей станцій так і їх підтримки в актуальному стані. В основі розробленої системи лежать розроблена база типових технологічних процесів та система редагування технологічних процесів із графічною підтримкою. Це дозволяє швидко формувати технологічні процеси конкретних станцій і пов'язувати їх з існуючою оперативною базою ресурсного забезпечення. В такій системі розв'язується проблема ефективної підтримки бази технологічних процесів в актуальному стані за рахунок їхнього зв'язку з єдиною нормативною базою. На основі відомого для кожної станції виробничого процесу формується, способом синтезу технологічних процесів, динамічна модель її роботи. На основі прогнозу поїздопотоків можна прогнозувати вихідні вагони – і поїздопотоки для довільної станції.

Графіки руху розробляються на основі планів формування пасажирських та вантажних поїздів. В основі системи автоматизації процесу побудови графіка лежать системи: формування і підтримки нормативної бази даних, розробки абсолютних, відносних і розрахованих

(динамічних) пріоритетів, які пов'язані із багатьма параметрами, які формуються в процесі побудови графіка руху (забезпечення рівномірної завантаженості станцій, ефективного використання пропускну і переробної спроможності, локомотивного парку, обслуговуючих бригад, механізмів, тощо).

Розроблено:

- графічний спец-редактор, який базується на представленні залізниць України в універсальних теоретико-графових поняттях (об'єктах), що дало можливість запропонувати єдиний підхід до збереження, представлення, опрацювання даних, побудови універсальних алгоритмів розв'язування задач на зважених графах, побудови моделей об'єктів, технологічних процесів, тощо. Засобами розробленої системи створена схема залізниць і станцій в об'єктах. Розроблене інформаційне середовище забезпечує ефективне розв'язання вище перерахованих задач.

- методи оптимізації руху поїздів із заданими критеріями оптимальності. Запропоновано підхід до побудови оптимальної траєкторії швидкості руху поїзда. Він полягає, при наявності часового ресурсу (різниця між часом виділений на графік руху і мінімально можливим часом) ефективно використати на зменшення кількості перехідних режимів, їх швидкості та максимального використання інерції руху (мінімізація використання гальмівних сил).

- алгоритми оптимального ведення поїздів в умовах невизначеності. При русанні поїзда нам відомі, як правило, паспортні характеристики вагонів і локомотивів. Маючи оперативні дані режиму руху поїзда можна ставити задачу ідентифікації параметрів моделей. Складність задачі полягає (всі невідомі входять в одне рівняння руху) в розпізнаванні як факторів так і величини впливу на ті чи інші режимні параметри.

- систему розрахунку оптимальних міжпоїзних та станційних часових інтервалів, які використовуються для розробки графіків руху поїздів і вони забезпечують безпечний рух поїздів та збільшення пропускну спроможності ділянок доріг та станцій.

- алгоритми прокладання ниток графіків руху поїздів, який забезпечує оптимальне використання енергетичних ресурсів і мінімізує час планових зупинок на станція.

- підходи щодо автоматизації процесу формування оптимальних нормативних та оперативних графіків руху поїздів.

програмні інструментальні засоби для автоматизації процесу побудови динамічних моделей станцій і їх підтримки в актуальному стані.

**Висновки.** В процесі побудови графіку руху в першу чергу забезпечується: *безпека руху* – забезпечується використанням розрахункових міжпоїзних і станційних інтервалів руху; *оптимальність, економність* – забезпечується знаходженням таких режимних параметрів які задовільняють критеріям оптимальності прокладання поїзду, наборів поїздів; максимальним використання пропускну і переробної спроможностей станцій, перегонів; прокладанням нитки графіка без додаткових зупинок і непродуктивних простоїв; *максимальну ступінь автоматизації побудови* – забезпечується введенням системи пріоритетів прокладання різних типів поїздів, та розпаралеленням процесу побудови графіків руху; *адаптивність* – забезпечується гнучкою системою сумісного розв'язування задач розрахунку елементів графіку руху; *максимальну стабільність графіку порівняно з минулорічним* – забезпечується алгоритмом побудови, який надає критерію близькості двох графіків руху високий пріоритет; *стійкість графіка* – забезпечується корегуванням розрахованих параметрів елементів графіка на випадок впливу на їх величину можливих випадкових факторів.

### Література

1. Притула М. Г., Шпакович Р. Р. Моделювання та розрахунок оптимальних параметрів руху поїздів. Фізико-математичне моделювання та інформаційні технології. 2007. Вип. 5. С. 139—145.
2. Притула М. Г., Шпакович Р. Р. Алгоритм побудови графіка руху поїздів. Вісник Національного університету "Львівська політехніка": Комп'ютерні науки та інформаційні технології. Львів. 2008. № 629. С. 146—152.
3. Притула М., Шпакович Р. Математична модель задачі оптимального адаптивного управління рухом поїзда. Вісник Національного університету "Львівська політехніка". 2010. № 672. Комп'ютерні науки та інформаційні технології. С. 159—166.

Притула Н. М., кандидат технічних наук,  
Центр математичного моделювання  
Притула М. Г., кандидат фізико-математичних наук,  
Інститут транспорту газу  
Фролов В. А.,  
ПАТ “УкрТрансГаз”

## КЕРУВАННЯ АКТИВНИМИ ОБ’ЄКТАМИ В СКЛАДНИХ СИСТЕМАХ ТРАНСПОРТУВАННЯ ТА ЗБЕРІГАННЯ ГАЗУ

**Анотація.** В роботі поставлена проблема дослідження газотранспортної системи як складної відкритої динамічної системи із розподіленими параметрами в обмежених просторово-часових областях. Для таких систем запропонована система моделювання впливу початково-крайових умов на параметри розподілу потоків в залежності від зовнішніх керованих та некерованих динамічних збурень. Поставлені задачі формування параметрів керування активними об’єктами для забезпечення оптимальності потокорозподілу всистемі за енергетичним критерієм. Приведені результати апробації розробленого алгоритмічного та програмного забезпечення.

**Ключові слова:** система транспортування газу, керування, програмне забезпечення, оптимальне планування, компресорні станції.

**Постановка проблеми.** Газотранспортна система (ГТС) проектувалася на оптимальну роботу в умовах номінального її завантаження. На даний час ГТС працює недовантаженою, а також використовуються непроекtnі реверсні поставки газу, що ускладнило як планування оптимальних режимів так і розроблення систем оптимального керування. Керування складними системами принципово відрізняється від оптимального (програмного) управління, тобто переведення системи до бажаного стану деяким оптимальним шляхом чи підтримка системи (газодинамічних процесів), з певною точністю, в деякому прогнозованому коридорі. Це пояснюється тим, що поведіння складних газотранспортних систем важко спрогнозувати, а визначити й тим більше «нав’язати» системі «оптимальний» шлях переходу до бажаного стану практично неможливо. Побудова системи формування керування газодинамічною системою пов’язана із проблемами моделювання, оптимізації та ідентифікації параметрів моделей динаміки процесів. На складність моделювання впливає складність об’єкту, який містить десятки тисяч об’єктів з моделями які мають різне математичне представлення. Всистемі є присутніми об’єкти як неперервної так і дискретної дії. Більше того частина крайових умов формується в процесі моделювання системи. На стійкість методів розрахунку параметрів газових потоків в таких системах впливають моделі газових потоків об’єктів, які різняться на багато порядків за геометричними параметрами, амплітудою та часом перехідних процесів. Існує проблема оптимізації розподілених систем мережевого типу з активними об’єктами та змінною структурою, яка пов’язана з відсутністю загальноприйнятого ефективного підходу для його проведення. В межах точності вхідних даних не існує єдиного оптимального режиму. Оптимальна робота всієї системи, як правило, не залежить від оптимальної роботи окремих об’єктів та підсистем. Існує проблема ідентифікації параметрів моделей та стану об’єктів. Ускладнює розв’язання проблеми значний рівень невизначеності режимної інформації. Частина необхідної інформації, для уточнення параметрів ідентифікації, в багатьох випадках є відсутньою. Це вимагає проведення додаткових досліджень для встановлення певних усереднених параметрів для груп об’єктів та оцінки їх впливу на параметри газодинамічних процесів на значних інтервалах часу.

**Вирішення завдань.** В роботі запропонована математична модель газотранспортної системи, яка пов’язує моделі технологічних схем із змінною топологією і різнотипні математичні моделі технологічних об’єктів (з зосередженими та розподіленими параметрами, заданих у вигляді аналітичних співвідношень, диференціальних рівнянь і систем, описаних

алгоритмічно) технологічних об'єктів, що забезпечило побудову методів, ітераційні процедури і алгоритми для знаходження параметрів потоків газу для існуючих типів, структурної організації газових мереж, існуючих технологій транспортування, керування та розподілу потоків газу [1, 2, 3].

Розроблено алгоритмічне та програмне забезпечення для:

- оптимального планування режимів з високим рівнем автоматизації побудови моделі системи транспортування газу та розв'язуванням режимно – технологічних задач з системою актуалізації інформаційної підтримки задач для розрахунку і оптимізації термо–гідравлічних параметрів потоків для газотранспортної системи;

- розрахунку, ідентифікації та оптимізації параметрів роботи газотранспортної роботи для складних системи транспортування та зберігання газу, як для оперативного так і перспективного оптимального планування режимів роботи ГТС;

- збільшення стійкості методу та значно зменшив час знаходження динамічних параметрів потоків газу, способом модифікації технологічної схеми і який забезпечив автоматизацією процесу модифікації та формування моделі системи (системи рівнянь), розв'язки якої за точністю співмірні з розв'язками вихідної не модифікованої системи у випадку їх стійкого розв'язання;

- розрахунку оптимальних параметрів керування потоками газу для газотранспортних систем із складною технологічною схемою, з активними об'єктами і з врахуванням технічних та технологічних обмежень. Запропоновано алгоритми та методи розрахунку параметрів керування потоками, які забезпечують формування регламенту роботи технологічних об'єктів та мінімізують паливно – енергетичні затрати на транспортування газу.

розроблено швидкозбіжні методи знаходження фільтраційних параметрів газу в неоднорідних пластах – колекторах, врахувавши розрідженість матриць систем рівнянь (незначну наповненість ненульовими елементами матриці систем рівнянь), що забезпечило поставити та розв'язати задачі ідентифікації та оптимізації на значних часових інтервалах роботи газосховищ.

**Висновки.** В роботі розв'язано актуальну науково-технічну проблему розроблення аналітико-числових методів та математичних моделей руху газу в складних системах транспортування та зберігання газу, які дали можливість побудувати ефективні методи і алгоритми розрахунку параметрів нестационарного руху газу в системах із складною технологічною схемою та нестационарної фільтрації газу в неоднорідних пористих середовищах, що дало можливість забезпечити оптимізацію технологічних процесів в об'єктах та в газотранспортній системі у цілому. Продемонстровано ефективність використання розробленого алгоритмічного та програмного забезпечення для реалізації важливих народно – господарських проектів із розвитку та реконструкції ГТС у залежності від прогнозованих сценаріїв розвитку енергетичного сектору України.

### Література

1. Прытула Н. М. Розрахунок параметрів потокорозподілу в газотранспортній системі (стаціонарний випадок). Фізико-математичне моделювання та інформаційні технології. 2007. Вип. 5. С. 146—157.

2. Prytula N. Mathematical modelling of dynamic processes in gas transmission. Econtechmod. An international quarterly journal. 2015. Vol. 4. № 3. 57—63.

3. Nazar Prytula. Calculation of under ground gass to rage operating model / ANNAL SofFaculty Engineering Hunedoara. International Journal of Engineering. Tome XIII. 2015. Fascicule November. 123—126.

**Прокопеня О. Н.**, кандидат технических наук, доцент,  
Брестский государственный технический университет  
**Воробей И.С.**, магистрант,  
Брестский государственный технический университет

## УПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЕМ МОБИЛЬНОГО ДВУХКОЛЕСНОГО РОБОТА

**Аннотация.** Исследована динамика двухколесного мобильного робота, движение которого обеспечивается за счет смещения подвижной платформы, и соответственно, центра масс всего устройства в направлении перемещения. На основе анализа определены рациональные параметры конструкции. Синтезирована двухканальная система управления движением по скорости и углу поворота. Результаты моделирования в среде MATLAB подтвердили достаточно хорошее качество регулирования по указанным переменным, что позволяет роботу отрабатывать заданную траекторию с приемлемой точностью.

**Ключевые слова:** мобильный робот, система управления движением.

Мобильные роботы широко применяются в различных отраслях. Их конструкции весьма разнообразны и определяются особенностями выполняемых операций. Авторами исследована динамика двухколесного двигательного модуля, используемого в составе транспортного робота [1, 2]. В этом случае не возникает задача обеспечения устойчивости модуля, поскольку он крепится к платформе. В данной работе рассматривается двухколесный мобильный робот, представляющий собой автономное устройство (рис. 1).

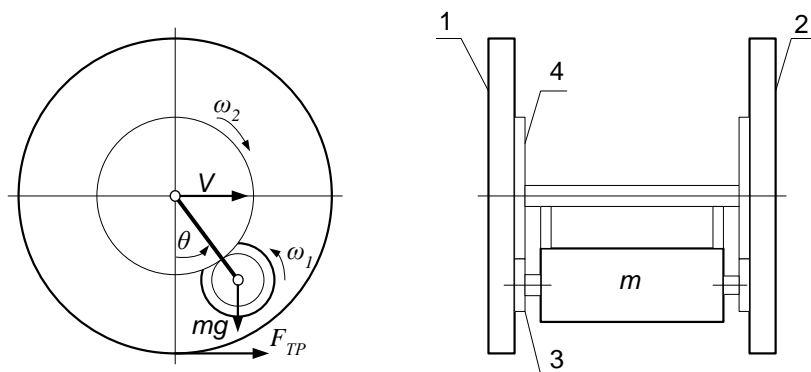


Рисунок 1 – Конструктивная схема робота

Конструкция является достаточно компактной и при соответствующем управлении обладает высокой маневренностью. В то же время, наличие только двух точек опоры создает условия для возникновения колебаний относительно состояния равновесия. При этом, смещение центра масс, необходимое для выполнения движения, может являться возмущающим фактором, вызывающим появление колебаний. В этой связи, является актуальной задача исследования динамики робота, с тем, чтобы минимизировать влияние возмущений за счет рационального выбора параметров конструкции, а также выявить возможности обеспечения монотонного характера движения за счет системы управления (выбора соответствующей структуры системы и законов регулирования). Данная задача решалась методами математического моделирования с использованием среды программирования MATLAB.

В рассматриваемой конструкции (рис. 1) колеса 1 и 2 имеют индивидуальные приводы от двигателей постоянного тока через редукторы и зубчатые передачи. Так при вращении зубчатого колеса 3 от привода оно обкатывается по зубчатому колесу 4, закрепленному на колесе 1. Это приводит к отклонению платформы массой  $m$  с приводами на угол  $\theta$  и созданию

вращающего момента  $M=0,5 \cdot m \cdot g \cdot (d_1+d_2) \cdot \sin\theta$ , где  $d_1$  и  $d_2$  – диаметры зубчатых колес. За счет управления приводами можно обеспечить поступательное перемещение робота или его поворот за счет разности скоростей колес. Таким образом, управляя угловыми скоростями колес, можно обеспечить любую желаемую траекторию движения.

Для решения поставленной задачи разработана динамическая модель робота, реализованная в приложении Simulink. Использование обратной связи по углу отклонения платформы позволило линеаризовать данную модель. С ее помощью синтезирована система управления приводами, обеспечивающая независимое регулирование скорости перемещения и угла поворота. Рациональная настройка приводов позволила обеспечить монотонный характер движения (отсутствие перерегулирования), что дает возможность роботу отслеживать заданную траекторию с приемлемой точностью. Результаты моделирования иллюстрируются рис. 2.

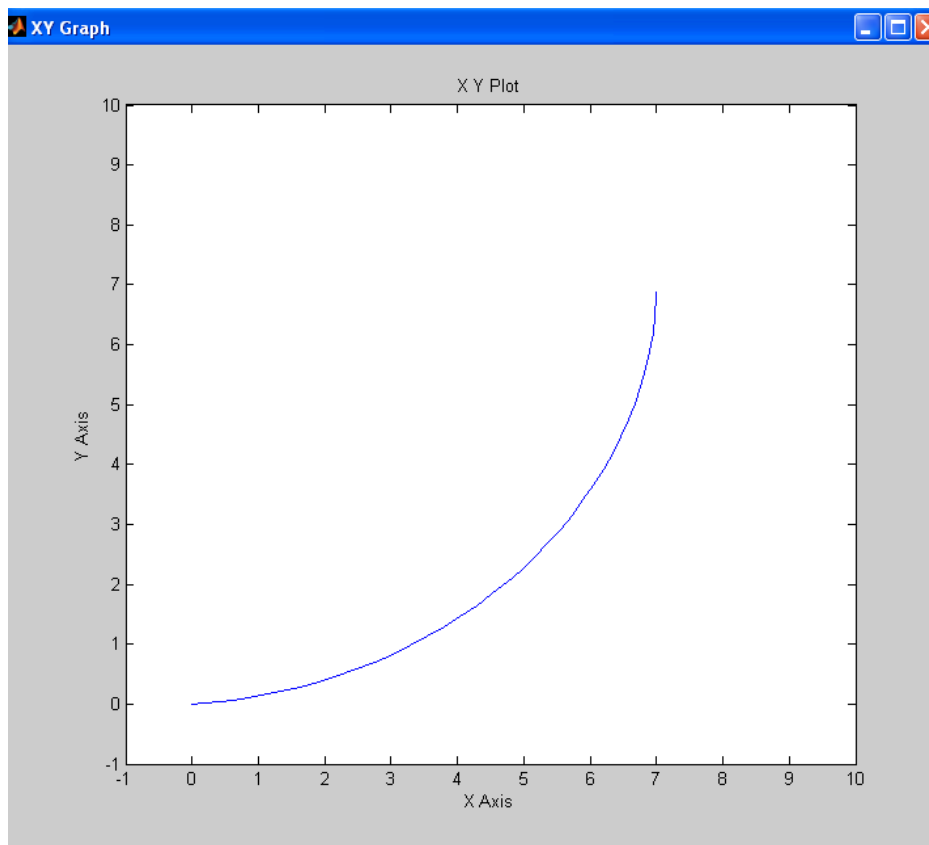


Рисунок 2 – Результаты моделирования движения робота.

Таким образом, полученные результаты можно использовать на практике для управления роботами аналогичной конструкции.

### Литература

1. Прокопеня О. Н., Козлович К. А., Халитов В. В. Система управления двигательным модулем мобильного робота. Автоматизация и роботизация процессов и производств: материалы Республиканского научно-практического семинара. г. Минск. 13 февраля 2014 года. Минск. 2014. С. 65—67.
2. Штеттер Р., Прокопеня О. Н., Козлович К. А. The problem of mobile robots movement control. Новые технологии и материалы, автоматизация производства: материалы Международной научно-технической конференции. г. Брест. 29-30 октября 2014 года. БрГТУ. Брест. 2014. С. 4—6.

**Рижков О. М.**, аспірант,  
Інститут електродинаміки  
**Кондратенко І. П.**, доктор технічних наук, професор,  
Інститут електродинаміки  
**Толочко О. І.**, доктор технічних наук, професор,  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
**Стяжкін В. П.**, кандидат технічних наук,  
Інститут електродинаміки

## ШЛЯХИ ПОБУДОВИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ КРАНОМ-МАНІПУЛЯТОРОМ

**Анотація.** Розглянуто основні кроки побудови системи автоматичного керування краном-маніпулятором для виконання вимог до точності позиціонування вантажу та до швидкодії системи.

**Ключові слова:** кран-маніпулятор, нечітка логіка, система автоматичного керування.

**Вступ.** Мостові крани знайшли широке використання в промисловості. Менш відомі у використанні мостові крани-маніпулятори. Це пов'язано з тим, що кран-маніпулятор потребує складної системи керування, яка повинна в автоматичному режимі виконувати функції керування пересуванням в трьох вимірах та функцію керування маніпулятором з точним позиціонуванням вантажу, що переміщується. Розвиток високотехнологічних промислових технологій обумовлює більш широке використання кранів-маніпуляторів, а в деяких випадках їх застосуванню нема альтернативи. Зокрема це відноситься до установок дезактивації металів на АЕС, де кран-маніпулятор використовується в технологічному процесі в автоматичному режимі і участь людини в керуванні виключається. В роботі [1] дана загальна характеристика роботи крана-маніпулятора в такій установці та викреслена проблема побудови системи автоматичного керування (САК) краном. Основними особливостями роботи такого крана є дуже жорсткі вимоги до точності позиціонування вантажу та до швидкодії системи керування, на яку впливають динамічні зміни навантаження під час технологічних операцій (занурення вантажу у рідину чи підняття з рідини). В даній роботі потрібно визначити шляхи побудови системи автоматичного керування краном-маніпулятором в технології дезактивації металів.

**Мета роботи.** Визначення основних кроків побудови системи автоматичного керування краном-маніпулятором, які забезпечать виконання вимог до точності позиціонування вантажу та до швидкодії системи.

**Матеріали дослідження.** Вантаж, що переміщується мостовим краном-маніпулятором, у загальному випадку має 5 ступенів свободи і являє собою нелінійний багатозв'язний об'єкт керування 8-го порядку, математичний опис якого складають за допомогою рівнянь Лагранжа 2-го роду [2]. При реалізації такого математичного опису за допомогою імітаційного моделювання, наприклад у блоках *Simulink*, виявляється багато перехресних зв'язків, тригонометричних функцій та блоків множення, що ускладнює налаштування моделі. Складність значно підвищується при намаганні врахування перехідних процесів розгойдування вантажу у досліджуваній системі. Тому доцільно буде розробити віртуальну механічну модель.

Отже першим кроком на шляху побудови САК є розробка віртуальної фізичної моделі сукупності механізмів крану з використанням блоків бібліотеки *SimMechanics (SM)* у середовищі *MATLAB-Simulink* та дослідження перехідних процесів. Перевагою віртуальних механічних моделей є можливість їх розробки без використання математичного опису досліджуваного об'єкта, а недоліком – наявність великої кількості параметрів, правила визначення яких є не зовсім зрозумілими. Визначити і усунути помилки у віртуальних моделях можна шляхом коригування сумнівних параметрів та з'єднань у процесі порівняння результатів структурного математичного та віртуального фізичного моделювання механізмів крану.

Другим кроком на шляху побудови САК є аналіз динаміки крану з урахуванням пружних властивостей його конструкції. В мостовому крані-маніпуляторі використовується у якості



механізму підйому телескопічна колона з механізмом захвату вантажу. Така конструкція вирізняється більшою жорсткістю, порівняно з канатом.

Розподіл пружності уздовж конструкції мосту залежить від положення візка на ньому і зумовлює наявність нелінійності у моделі об'єкта у вигляді зміни частот власних коливань. При цьому динаміку крану можна приблизно описати за допомогою тримасової системи, параметри якої необхідно налаштовувати вручну або автоматично так, щоб результати її роботи співпадали з моделлю з розподіленими параметрами.

Гасіння коливань вантажу можливе за допомогою використання тахограм спеціальної форми, які мають бути розраховані для замкненої системи регулювання положенням. Пропонується використовувати систему підпорядкованого регулювання положенням кожного електроприводу мостового крану, яка складається з трьох контурів – струму, швидкості та положення для підтримування необхідного значення моменту протягом всього процесу позиціонування. Тобто третім кроком на шляху побудови САК є синтез системи підпорядкованого регулювання.

Першим синтезується внутрішній контур струму, який з урахуванням швидкодії сучасних перетворювачів частоти в асинхронному електроприводі із системою векторного керування можна записати у вигляді аперіодичної ланки. При синтезі контуру швидкості можуть бути реалізовані два варіанти регуляторів швидкості – із повною та частковою компенсацією коливальності об'єкта. Система регулювання із повною компенсацією, як показують експерименти [3], має більшу швидкодію, тому її пропонується використовувати при моделюванні процесу та синтезі контуру положення. Контур керування положенням виконують з пропорційним регулятором, який має статичну похибку. Таку статичну похибку можливо усунути при збільшенні коефіцієнту підсилення, але це може призвести до появи автоколивань в системі. Якщо замінити пропорційний регулятор положення на фаззі-логічний з вибором пропорційного коефіцієнту налаштування по таблиці, можна поліпшити показники якості керування.

Усі розрахунки та результати моделювання перехідних процесів синтезованої структури САК краном справедливі лише тоді, коли механічні та електромагнітні параметри механізмів та електроприводів крана відомі із великим ступенем точності. У протилежному випадку система позиціонування крана-маніпулятора працюватиме неефективно.

Тому четвертий крок в побудованні САК краном є створення адаптивної системи регулювання, яка б компенсувала неточності при визначенні параметрів. Система з нечітким регулюванням наближує виконання жорстких вимог до САК краном-маніпулятором, але має один недолік, який впливає на якість керування – формування бази правил (бази знань) для нечіткого регулятора залежить від компетентності експерта, що їх формує. Більш доцільно формування гібридної системи, в якій сумісно використовуються класична та нечітка моделі. В такій системі керування знання (дані), які надходять від реалізації алгоритму керування класичної системи підпорядкованого регулювання положенням, використовують для формування бази правил до нечіткої моделі та синтезу нечіткого регулятора. Тобто таким чином формується САК з самоналагоджуванням.

**Висновки.** Визначені основні кроки побудови системи автоматичного керування краном-маніпулятором в установці дезактивації металів, які дозволяють виконати вимоги щодо точності позиціонування вантажу та до швидкодії системи.

### Література

1. Стяжкін В. П., Подейко П. П., Зайченко О. А., Гаврилюк С. И., Рьжков А. М. Автоматизированная система управления электроприводами мостового крана-манипулятора для установки дезактивации металлов. Электротехнические и компьютерные системы. 2015. No 19 (95). С. 71—74.
2. Lee H. H. Modeling and control of a three-dimensional overhead crane. ASME Journal of Dynamic Systems, Measurements, and Control. 120. 1998. 471-476.
3. Толочко О. І., Бажутін Д. В., Пронін О. І. Синтез триконтурної системи регулювання положення електропривода візка мостового крана. Донбас-2020: перспективи розвитку очима молодих вчених: Матеріали V науково-практичної конференції. м. Донецьк. 25-27 травня 2010 року. Донецьк. ДонНТУ. Міністерство освіти і науки. 2010. С. 266—271.

## УПРАВЛІННЯ АВТОМАТИЗОВАНИМИ ГАЗОРОЗПОДІЛЬЧИМИ СТАНЦІЯМИ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕНЗОРНИХ МОДЕЛЕЙ

**Анотація.** Обґрунтовано використання тензорних моделей для оцінки роботи автоматизованої газорозподільної станції. Наведена структурна схема із інформаційними потоками. Наводиться приклад підходу розробки тензорної моделі для автоматизованої газорозподільної станції.

**Ключові слова:** тензор, система управління, автоматизована газорозподільна станція.

**Постановка проблеми.** Сучасні автоматизовані газорозподільні станції (АГРС) повинні функціонувати в таких режимах: автоматичного керування технологічним процесом роботи АГРС; дистанційного керування технологічним процесом роботи АГРС; місцевого керування технологічним процесом роботи АГРС. У режимі автоматичного керування САК ГРС повинна здійснювати керування технологічним обладнанням за уставками, введеними оператором. У режимі дистанційного керування оператор АГРС здійснює керування технологічним обладнанням АГРС на відстані з пульта керування САК АГРС або для варіанту без обслуговуючого персоналу. У режимі місцевого керування оператор АГРС здійснює керування технологічним обладнанням за допомогою органів ручного керування, установлених поряд з обладнанням. Тобто крім автоматичної роботи передбачається два режими при яких передбачено втручання в роботу оперативного персоналу, і робота вже залежатиме від рівня кваліфікації персоналу, його змоги оперативно оцінювати стан роботи станції та формувати причину наслідкові зв'язки у разі появи відхилень.

Для типової газорозподільної станції характерні наступні компоненти: вузол перемикання і запобіжної арматури; вузол очищення газу; вузол запобігання гідратоутворень; вузол редукування тиску газу; система вимірювання витрати газу; вузол одоризації газу; вузол підготування імпульсного газу; установка електрохід-захисту від корозії; система опалення і вентиляції; охоронна сигналізація; сигналізація несанкціонованого доступу до об'єкта; технологічний зв'язок і телемеханіка; електроживлення САК; контроль загазованості.

**Виклад основних методів та положень.** Структурну схему газорозподільної станції можна представити у вигляді рис. 1. Вузол перемикання АГРС призначений для перемикання потоку газу високого тиску із автоматичного на ручне регулювання тиску через обвідну (байпасну) лінію, а також для запобігання підвищення тиску в лінії подавання газу споживачу за допомогою запобіжної арматури. Вузол очищення газу на ГРС призначений для запобігання попадання механічних домішок і рідини у технологічні трубопроводи, обладнання, засоби контролю і автоматики ГРС та у вихідні газопроводи після ГРС. Вузол запобігання гідратоутворень призначений для недопущення обмерзання арматури і утворення кристалогідратів у комунікаціях і обладнанні ГРС, що можуть призвести до порушення нормального режиму роботи ГРС. Вузол редукування призначений для зниження і автоматичного підтримування заданого тиску газу, який подається споживачам. Редукування тиску на ГРС може здійснюватись: двома лініями редукування однакової продуктивності, які оснащені однотипною перекивно-регулювальною арматурою (одна лінія робоча, а друга – резервна); трьома лініями редукування, оснащеними однотипною перекивно-регулювальною арматурою, із яких 2 лінії робочі (продуктивність кожної –50%) і одна резервна (продуктивністю –100%); з використанням більше трьох ліній редукування і у цьому випадку дозволяється застосування до кожної із трьох ліній обвідної лінії продуктивністю 35-40 %

(трьох ліній), оснащеної краном-регулятором або нерегульованим дроселем. Вузол одоризації газу призначений для надання запаху газу з метою своєчасного виявлення його витоків за запахом.

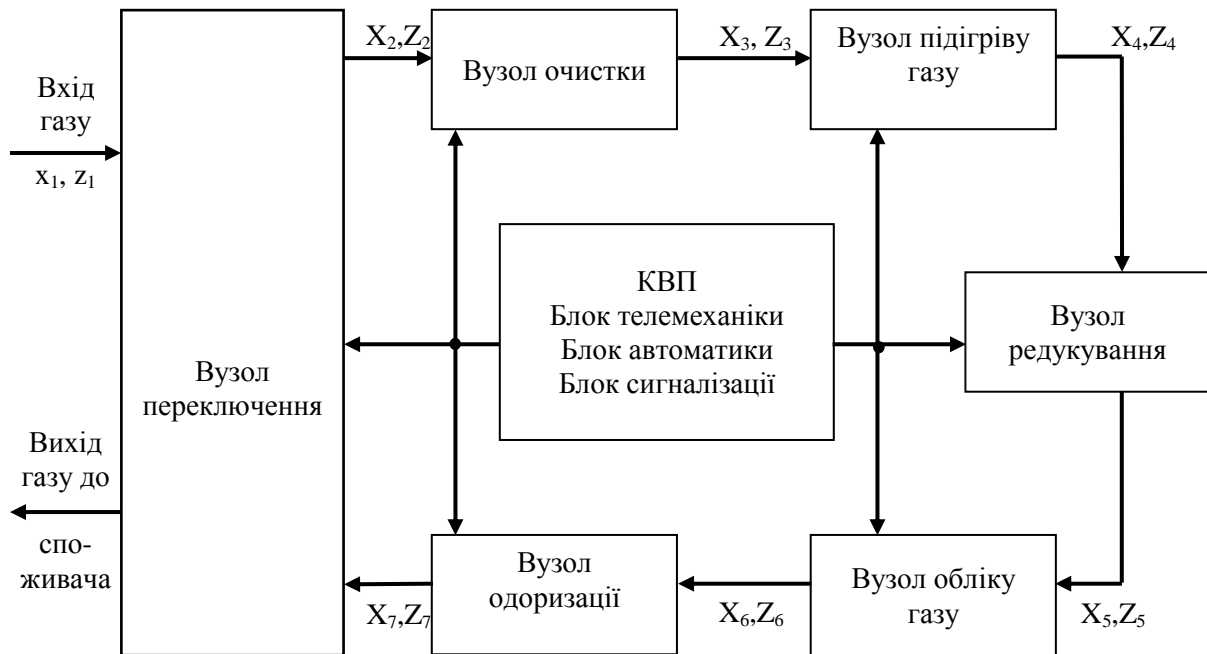


Рисунок 1 – Структурна схема газорозподільної станції

Для кожного вузла характерні свої вхідні та вихідні інформаційні потоки, де  $X_i$  – вектор вхідних величин,  $Z_i$  – вектор збурень, а  $U_i$  – вектор керувань. Для кожного вузла ці вектори характеризуються своїми величинами. Так вектор вхідних величин  $X_i = [x_{i,1}, x_{i,2}, \dots, x_{i,n}]$  може складатись з тиску, температури тощо, а вектор збурень  $Z_i = [z_{i,1}, z_{i,2}, \dots, z_{i,n}]$  – з вологості газу, зміни коефіцієнтів теплообміну, зміни складу газу і т.д.

Тобто з однієї сторони на станції контролюється та підтримуються подібні параметри, а з іншої вони змінюються після кожної стадії тобто після кожного вузла, і невелике відхилення одного параметру може привести до суттєвих відхилень на завершальній стадії. Саме тому для оцінки роботи газорозподільної станції запропоновано використати методи тензорного аналізу для моделювання роботи автоматизованої газорозподільної станції та ідентифікації відхилень. Даний підхід дозволить об'єднати всі параметри та показники процесу у вигляді багатомірного простору, а методи тензорного аналізу дозволять використати потужний математичний апарат для її обробки.

Для представлення роботи газорозподільної станції у тензорному вигляді вводиться система координат, що відображає n-мірний простір, де кожна точка відповідатиме певному стану роботи газорозподільної станції. Перехід від однієї точки до іншої буде характеризувати перетворення вектору вхідних параметрів у вектор вихідних параметрів. Дане перетворення буде описуватись тензором. Розмірність тензору залежить від кількості змінних на вході і виході. Координатні осі вибираються, як абсолютна система координат, що відповідатиме розмірності простору роботи газорозподільної станції. Тобто кількість осей буде відповідати кількості параметрів. При цьому всі базисні осі повинні бути взаємно перпендикулярні (ортогональні) та мати однакові розмірності і рівні одиничні міри (ортонормовані). Тобто система координат прийнята ортогональною і ортонормованою.

**Висновок.** Перевага тензорного аналізу в тому, що тензор, як для об'єкта управління так і самої системи управління, розраховується тільки один раз, далі компоненти тензора перераховуються в залежності від вибраного базису. При чому, якщо є тензори для технологічного апарату або лінії, то при необхідності моделі підприємства або всього виробництва тензори можна додавати та множити. При цьому будуть сформовані нові тензори, тобто буде розроблена нова тензорна модель, як для ділянки так і всього підприємства.

**Северин В. П.**, доктор технических наук, профессор,  
Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»  
**Никулина Е. Н.**, кандидат технических наук, доцент,  
Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»  
**Шевцов А. С.**, аспирант,  
Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРОВЫХ ТУРБИН АЭС КАК ОБЪЕКТОВ УПРАВЛЕНИЯ В МАНЕВРЕННЫХ РЕЖИМАХ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

**Аннотация.** Рассмотрены уравнения переходных режимов паровой турбины как объекта управления в абсолютных переменных состояниях. Построены нелинейные модели паровых турбин К-1000-60/1500-2 и К-220-4,4-3 как объектов автоматического управления в относительных переменных состояниях. Получены графики изменения переменных давления и частоты. Исследованы режимы сброса нагрузки.

**Ключевые слова:** паровые турбины, математические модели, объект автоматического управления, переходные процессы, маневренный режим.

Системы автоматического управления (САУ) паровыми турбинами АЭС должны стабилизировать частоту вращения ротора турбины с высокой точностью. Для обеспечения устойчивости САУ, ограничения максимального отклонения частоты вращения ротора, ограничения показателя колебаний частоты, для максимального быстродействия САУ необходимо оптимизировать параметры САУ, что требует минимизации количества вычислений при моделировании переходных режимов [1]. Паровые турбины К-1000-60/1500-20 и К-220-4,4-3 совместно с электрическими генераторами производят на АЭС значительную долю электрической энергии Украины и эксплуатируются в режиме стабилизации мощности атомного энергоблока, хотя в результате несоответствия между генерированием и потреблением электрической энергии в течение суточного цикла актуальна проблема маневрирования мощностью энергоблока [2]. Сложная проблема маневренности энергоблоков АЭС для своего теоретического решения требует развития математических моделей и методов анализа САУ паровых турбин энергоблоков АЭС. Повышение точности расчета оптимальных САУ возможно при использовании нелинейных моделей систем, которые полнее учитывают особенности протекания реальных технологических процессов [3].

Целью доклада является представление нелинейных моделей мощных паровых турбин АЭС К-1000-60/1500-20 и К-220-4,4-3 как объектов управления для исследования маневренных режимов эксплуатации.

Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи: проводится анализ моделей паровой турбины с учетом особенностей маневренных режимов; строятся модели турбин К-1000-60/1500-20 и К-220-4,4-3 для маневренных режимов эксплуатации в абсолютных переменных состояниях; модели турбин преобразуются к относительным переменным состояниям; на основании моделей турбин исследуется режим сброса нагрузки.

Проанализированы уравнения динамики паровой турбины. При их записи предполагается, что в начальный момент времени все переменные и параметры находятся в равновесном состоянии. Выведены формулы, которые применяются при вычислении расходов пара через регулирующие органы. Расход пара, вытекающего из внутренних отсеков турбины в последующие отсеки, вычисляется по формуле Флюгеля-Стодолы. Получена система дифференциальных уравнений для вычисления давлений в паровых объемах при изменении режима работы паровой турбины.

Рассмотрены общие уравнения переходных режимов паровой турбины как объекта управления в абсолютных переменных состояниях. Для этого определены паровые объемы, соответствующие различным ступеням паровых турбин К-1000-60/1500-2 и К-220-4,4-3,

базовые значения времени и давления. Для турбины К-1000-60/1500-2 выделено 12 паровых объемов, а для турбины К-220-4,4-3 – 13 объемов. Составлены дифференциальные уравнения для переходных режимов этих турбин, которые преобразованы к относительным безразмерным переменным состояния давления, мощности, частоты вращения турбины и времени. На основании конструктивных и технологических параметров паровых турбин К-1000-60/1500-2 и К-220-4,4-3 вычислены значения постоянных параметров моделей. В результате построены нелинейные модели паровых турбин К-1000-60/1500-2 и К-220-4,4-3 в относительных переменных состояния, учитывающие экспериментальные данные органов регулирования. Модель турбины К-1000-60/1500-2 имеет порядок 13, а модель турбины К-220-4,4-3 – порядок 14. На входе этих моделей задаются координаты сервомоторов и значение уставки мощности электрического генератора. Объем вычислительных операций построенных моделей турбин в относительных переменных состояния на порядок меньше, чем в моделях турбин в абсолютных переменных.

На основании построенных моделей паровых турбин К-1000-60/1500-2 и К-220-4,4-3 методом имитационного моделирования исследованы режимы сброса нагрузки. Для моделей турбин заданы соответствующие номинальному режиму начальные условия, а также значение уставки мощности электрического генератора при сбросе нагрузки, функции перемещения сервомоторов при сбросе нагрузки. Приведены графики режима сброса нагрузки паровых турбин, полученные численным интегрированием систем дифференциальных уравнений. Для паровых турбин АЭС исследовано изменение давления, получено значение максимального заброса оборотов от номинального значения частоты вращения турбин.

Выводы. Рассмотрены принципы построения уравнений паровой турбины АЭС как объекта управления. Представлены нелинейные модели САУ паровых турбин К-1000-60/1500-2 и К-220-4,4-3 в относительных переменных состояния путем приведения уравнений динамики паровых турбин как объектов управления в абсолютных переменных состояния к относительным переменным и преобразованием этих уравнений. На основании математических моделей турбин методом имитационного моделирования построены графики изменения переменных давления и частоты, исследованы режимы сброса нагрузки. Модели паровых турбин АЭС в относительных переменных с минимальным количеством вычислений могут быть использованы для оптимизации систем автоматического управления турбин.

### **Литература**

1. Северин В. П., Никулина Е. Н., Чеченова И. Х. Нелинейные модели переходных режимов паровых турбин АЭС для оптимизации процессов управления. Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Серія: енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. Харків. 2016. № 8(1180). С. 65—71. ISSN 2078-774X.
2. Северин В. П., Никулина Е. Н., Шевцов А. С. Модель паровой турбины К-1000-60/1500-2 для исследования процессов управления. Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Серія: енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. Харків. 2017. № 8 (1230). С. 57—62. ISSN 2078-774X. doi: 10.20998/2078-774X.2017.08.08.
3. Северин В. П., Никулина Е. Н., Годлевская К. Б. Многоцелевая оптимизация систем управления паровой турбиной К-1000-60/1500 на основе векторной целевой функции. Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Харків. 2013. № 13(987). С. 24—29. ISSN 2078-774X.

Сідлецький В. М., кандидат технічних наук, доцент,  
Національний університет харчових технологій  
Ельперін І. В., кандидат технічних наук, професор,  
Національний університет харчових технологій

## ТЕНЗОРНІ МОДЕЛІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ АПАРАТІВ ТА ОБ'ЄКТІВ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ПІДПРИЄМСТВОМ

**Анотація.** Обґрунтовано використання тензорних моделей технологічних апаратів та об'єктів в системах автоматизованого управління підприємства. Наведений приклад розробки тензорної моделі для технологічних апаратів та використання розроблених тензорних моделей в автоматизованій системі управління.

**Ключові слова:** тензор, базис, система управління, тензорне розкладання.

**Постановка проблеми.** Для сучасних систем керування промисловими підприємствами характерним є інтеграційний підхід, тобто об'єднання підсистем керування локальних технологічних ділянок в єдину виробничу інформаційну управляючу систему. Не виключенням є і автоматизована система управління сучасного цукрового заводу, що об'єднує всі локальні системи керування об'єктами (підігрівачі, збірники, апарати), ділянками, відділеннями (сокодобування, сокоочистки, випарювання) та комплекси ділянок в єдину інтегровану систему. Кожна підсистема має свій апарат обробки, наприклад, вирішення задач лінійного програмування, масового обслуговування, управління запасами [1]. На даний момент розроблена значна кількість підходів та прийомів, які дозволяють змоделювати практично всі процеси та явища на виробництві, єдиним недоліком є те що вони розробляються індивідуально під конкретну задачу і потребують додаткового доопрацювання, наприклад: при переході від одного рівня ієрархії до іншого, а також потрібно відмітити, наявність значної кількості змінних, які будуть ускладнювати розробку моделей і формувати їх індивідуальність, тобто обмеженість у використанні. Важливість такого підходу до управління пов'язано з тим, що максимальної ефективності роботи підприємства можливо досягти тільки за рахунок узгодженості роботи кожної ділянки.

На даний час для моделювання широко використовують методи диференціальних та алгебраїчних рівнянь, але для інтегрованої системи керування, розроблена модель повинна враховувати не тільки всі вхідні та вихідні параметри технологічного процесу, а й мати можливість структурної зміни (тобто мати можливість включення або виключення із моделі окремих елементів, які пов'язані із роботою окремих технологічних апаратів); можливість реагувати на зміну діапазону управляючих діянь; враховувати попередні технологічні процеси та мати здатність інтегруватись у наступні моделі або розрахунки управляючих дій. Тобто розроблена модель процесу очистки дифузійного соку та управління цього цим процесом повинна враховувати всі можливі варіанти роботи, та надати саме тому, для систем керування процесом дефекосатурації, потрібно не просто задати предметну область у вигляді моделі для прогнозування наслідків при нанесенні управляючих дій, а потрібно використати її для побудови причино наслідкового зв'язку між вхідними та вихідними параметрами наскрізно через всю багаторівневу систему з урахуванням роботи всіх суміжних підсистем.

**Мета дослідження.** Саме тому запропоновано використати методи тензорного аналізу для моделювання як технологічного процесу так і системи управління. Дана (тензорна) модель дозволить об'єднати всі параметри та показники процесу у вигляді багатомірного простору, а методи тензорного аналізу дозволять використати потужний математичний апарат для її обробки. Тензорний аналіз дозволяє спростити процес моделювання практично для будь-якої області за рахунок введення категорії багатовимірного простору. Розроблена тензорна модель дозволяє описувати всі задачі незалежно від їх складності. Тензорний аналіз та тензорне розкладання стали застосовуватися у багатьох областях, наприклад: нейронні мережі,

проектування систем штучного зору, обробки сигналів та обробки і аналізу даних. Тензорний аналіз представляє собою узагальнення понять з векторного аналізу та дозволяє об'єднати масиви даних та фізичні величин складної природи, які не можуть, бути описані або представлені у вигляді скалярів або векторів. Тому, використання тензорного методу для побудови моделі виробничого процесу є найбільш виправданим.

**Виклад основних методів та положень.** Тензорний аналіз представляє собою узагальнення понять з векторного аналізу та дозволяє об'єднати масиви даних та фізичні величин складної природи, які не можуть, бути описані або представлені у вигляді скалярів або векторів. Тому, використання тензорного методу для побудови моделі виробничого процесу є найбільш виправданим. Тензорний аналіз та тензорне розкладання стали застосовуватися для: розробки нейронних мереж, проектування систем штучного зору, обробки сигналів, обробки та аналізу даних. Насамперед тензор – це математичний об'єкт, який не залежить від зміни системи координат, але його компоненти при зміні системи координат перетворюються по певним математичним законам. Кожний керований процес подається у вигляді вектору де початкова точка вектору – це вхідні параметри, кінцева точка – це вихідні параметри, тобто це числові значення вхідних, вихідних змінних, тобто це координати вектора, але ці координати (тобто числа) самі по собі не мають ніякого сенсу і їх потрібно використовувати тільки з відповідними базовими векторами, що будуть утворювати систему координат простору технологічного процесу. При цьому розмірність технологічного простору буде залежати від кількості змінних на вході і виході. Координатні осі вибираються, як абсолютна система координат, що відповідатиме розмірності простору процесу пастеризації. Тобто кількість осей буде відповідатиме кількості параметрів. При цьому всі базисні осі повинні бути взаємно перпендикулярні (ортогональні) та мати однакові розмірності і рівні одиничної міри (ортонормовані). Якщо так представити вхідні та вихідні вектори простору технологічного процесу, то перетворення вектору вхідних параметрів у вектор вихідних параметрів в даному випадку буде описуватися матрицею перетворенням в даному випадку тензором. Як зазначалось вище важливою задачею є використання даної моделі у системі керування, тобто розрахунку управляючого діяння, або знаходження прогнозованого значення, тому для використання тензорних моделей в системах керування потрібно зменшити розмірність тензору до розмірності вхідної інформації, для цього використовують математичний апарат, що зменшує розмірність тензора, – тензорне розкладання. Найбільш вживаними є: розкладання Таккера, сингулярне розкладання, скелетне розкладання. Наприклад для трьохмірного тензору в якому будуть задані матиме такі розмірності як кількість продукції, якість продукції та кількість використаних ресурсів провівши розкладання можна отримати матризовані тензори. Таким чином можна сформулювати тензорну модель для всієї ділянки дефекосатурації та відповідно всіх ієрархій керування,

**Висновки.** Перевага тензорного аналізу в тому, що тензор, як для об'єкта управління так і самої системи управління, розраховується тільки один раз, далі компоненти тензора перераховуються в залежності від вибраного базису. При чому, якщо є тензори для технологічного апарату або лінії, то при необхідності моделі ділянки підприємства або всього виробництва тензори можна додавати та множити. При цьому будуть сформовані нові тензори, тобто буде розроблена нова тензорна модель, як для ділянки так і всього підприємства.

Теорія тензорного аналізу дозволяє спростити моделювання законів практично для будь-якої області за рахунок введення категорії багатовимірного простору, вона дозволяє описувати всі поверхні незалежно від їх складності.

### Література

1. Сідлецький В. М., Ельперін І. В., Полупан В. В. Аналіз невимірюваних параметрів на рівні розподіленого керування для автоматизованої системи, об'єктів і комплексів харчової промисловості. Наукові праці Національного університету харчових технологій. 2016. Т. 22. № 3. С. 7—15.

## ЗАСТОСУВАННЯ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ З МЕТОЮ ОТРИМАННЯ НАДТОНКИХ БАГАТОШАРОВИХ ПРОВІДНИХ СТРУКТУР

**Анотація.** Розроблена і запропонована у вигляді схеми автоматизації та блок-схеми алгоритму управління система автоматизації процесу виготовлення надтонких багатошарових провідникових структур термічним випаровуванням у вакуумі. Послідовне нанесення шарів забезпечено циклічною структурою алгоритму. В алгоритмі враховуються як загальні, так і специфічні для матеріалу кожного шару параметри процесу. В межах отримання окремого шару, при переході від одного етапу до іншого змінюються регульовані параметри, перемикається тип регулювальника (каскадний чи ні), а також замінюється критерій завершення етапу.

**Ключові слова:** випаровування, вакуум, багатошарова плівка, коефіцієнт ревіпаровування, керуючий комп'ютер, каскадний регулювальник.

Тонкі плівки різної структури і складу широко використовуються в мікроелектроніці та електронних пристроях. Метод термічного випару і конденсації в вакуумі є найбільш відпрацьований в технологічному відношенні і дозволяє створювати плівки з широким спектром фізичних властивостей. В багатошарових структурах кожний шар має своє функціональне призначення: забезпечення адгезії, провідності, захисту і так далі. Зазвичай товщина шару визначається за допомогою кварцових вимірників товщини (КВТ), чутливість яких не дозволяє вимірювати товщину надтонкої плівки на початковій стадії її формування. В той же час така товщина вже є достатньою для здобуття працездатної багатошарової провідної структури.

В роботі була поставлена задача організувати технологічний процес здобуття багатошарової провідною плівки мінімальної товщини, що застосовує сучасні методи автоматичного управління і високоефективні алгоритми. При рішенні задачі була складена схема автоматизації і розроблений алгоритм управління процесом з використанням двох КВТ для контролю того, що падає, та відбитого від підкладки потоків атомів випаровуваного матеріалу. При утворенні суцільної плівки конденсату на початковій стадії її зростання спостерігається стабілізація коефіцієнта ревіпаровування, що характеризує відношення відбитого від підкладки потоку атомів до потоку, який приходить на поверхню підкладки від випарника [1]. Саме цей коефіцієнт був вибраний в якості критерію досягнення необхідного стану шару. Стабілізація коефіцієнта ревіпаровування свідчить про однорідність поверхні віддзеркалення та завершення процесу формування суцільної плівки мінімальної товщини. Проте на практиці цей критерій є надійним тільки при стабільності падаючого потоку (роботи випарника), чому було приділено особливу увагу при складанні алгоритму управління.

У основному циклі алгоритму управління робиться послідовний перебір випарників, кожен з яких наносить на підкладку свій шар (всього можна нанести до чотирьох шарів). Після нанесення чергового шару кроковий двигун повертає платформу випарників (напівдиск на рис. 1) на точну величину, та вже наступний випарник опиняється в позиції під зразком. У середині основного циклу розташований виклик процедури управління підпроцесом нанесення шару. Ця процедура розбита на чотири етапи, три з яких є підготовчими і призначені для виведення випарника на стаціонарний режим роботи, а на четвертому робиться власне додавання нового шару у формовану структуру. Стабільність падаючого потоку забезпечується зміною величини струму нагріву випарника з використанням каскадного регулювальника.





## ІНТЕЛЕКТУАЛЬНЕ КЕРУВАННЯ КОМПЛЕКСОМ ПІДГОТОВКИ І ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПАРИ

**Анотація.** В публікації розглядається питання оптимізації енергоефективності цукрового виробництва з використанням інтелектуальних методів керування.

**Ключові слова:** інтелектуальне керування, випарна станція, редуційно-охолоджувальна установка.

**Постановка проблеми.** Основним споживачем теплової енергії на цукровому заводі є випарна станція. Від її роботи залежить продуктивність заводу, витрата енергоресурсів, втрати цукру, якість готового продукту. За правильного розподілу поверхні нагріву окремих корпусів випарної установки (ВУ) і ефективного використання екстрапари отримана кількість теплової енергії має бути достатньою для забезпечення основних технологічних потреб: нагрівання соку, жомпресової води, отримання соку та уварювання утфелів [1]. До того ж в котельню необхідно повернути визначену кількість конденсатів з мінімальною температурою 105 °С. Для ефективної роботи випарної станції пара повинна мати чітко визначені характеристики. Гостра пара проходить через редуційно-охолоджувальну установку (РОУ) для зменшення тиску і температури, і на виході отримуємо технологічну пару з необхідними значеннями параметрів. Проте в РОУ, принцип дії якої базується на барботуванні, спостерігаються часові затримки, котрі зменшують енергоефективність використання теплоносіїв. Оскільки виробництво пари для технологічних потреб цукрового заводу є вкрай важливою задачею, а її вирішення потребує комплексного та координованого підходу [2] з метою енергозбереження, доцільно розглянути РОУ в складі тепло-технологічного комплексу.

**Матеріали і методи.** Виділено та проаналізовано з точки зору інтелектуального керування тепло-технологічний комплекс, що включає редуційно-охолоджувальну установку (РОУ), котельні агрегати виробництва пари та випарну установку, як основного споживача пари. Для детального опису об'єкта керування проведено аналіз тепло-технологічного комплексу, визначено основні технологічні режими, контролюючі та керуючі змінні для кожної підсистеми. Для випарної установки необхідною є підтримка оптимальних значень рівнів в кожному з корпусів, оптимального значення густини сиропу на виході [3]. Виділено також ряд факторів, які дозволяють якісно та кількісно оцінити вплив на енерговитрати концентрування соків в процесі оперативного втручання в роботу ВУ. До цих факторів відноситься витрата ретурної пари на догрівання соку в першому корпусі ВУ до температури кипіння в підігрівачі соку перед ВУ, відбори вторинної пари з корпусів ВУ, витрата пари з останнього корпусу на конденсатор. Вимірюються також такі параметри, як температура та витрата соку на I корпус ВУ, вихід сиропу з концентратора та рівні у збірниках конденсату, тиск пари та рівень води в колонах РОУ. За якісною та кількісною зміною цих параметрів маємо змогу визначити поточний стан об'єкта керування, виявити позаштатні ситуації та компенсувати їх можливі наслідки, запобігти появі критичних ситуацій. З метою якісного і своєчасного керування тепло-технологічним комплексом пропонується застосування інтелектуальних алгоритмів керування та підсистема підтримки прийняття рішень (ПППР) оператора технолога.

**Висновок.** Проблема створення і розвитку інтелектуальних підсистем систем автоматизованого керування є актуальною для тепло-технологічних комплексів, оскільки дозволить реалізувати більш раціональне використання енергетичних ресурсів з метою покращення техніко-економічних показників.

### Література

1. Прядко М. О., Масліков М. О., Петренко В. П., Павелко В. І., Філоненко В. М. Основи теплотехнології цукрового виробництва: посібник. Вінниця. Нова Книга. 2007. 297 с.
2. Ладанюк А. П., Смітюх Я. В., Власенко Л. О. та ін. Системний аналіз складних систем управління: навчальний посібник. Київ. НУХТ. 2013. 274 с.
3. Гранковський Ю. С., Іванько Б. В., Чопа І. М. Автоматизація випарної станції цукрового заводу. ПИКАД: промышленные измерения, контроль, автоматизация, диагностика. 2003. №1-2. С. 24—25.

Тимофієва Н. К., доктор технічних наук, старший науковий співробітник,  
Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій та систем

## СКІНЧЕННІ ТА НЕСКІНЧЕННІ КОМБІНАТОРНІ КОНФІГУРАЦІЇ ЯК АРГУМЕНТ ЦІЛЬОВОЇ ФУНКЦІЇ В ПРИКЛАДНИХ ЗАДАЧАХ РІЗНИХ КЛАСІВ

**Анотація.** Досліджуються властивості комбінаторних конфігурацій та їх множин. Показано, що в залежності від задач комбінаторної оптимізації вони можуть бути скінченними та нескінченними, як з повтореннями так і без повторень.

**Ключові слова:** комбінаторна множина, комбінаторна конфігурація, аргумент цільової функції, розбиття  $n$ -елементної множини на підмножини, вибірки.

**Вступ.** Для прикладних задач комбінаторної оптимізації аналізуються комбінаторні конфігурації, які є аргументом цільової функції. В залежності від певного класу задач вони можуть бути як з повтореннями так і без повторень, а також скінченними та нескінченними. В літературі ці властивості комбінаторних конфігурацій ґрунтовно не досліджувалися. Як аргумент цільової функції в задачах комбінаторної оптимізації вони достатньою мірою не вивчалися.

**Постановка задачі.** В комбінаторній оптимізації, як правило, розглядаються скінченні комбінаторні конфігурації (перестановки, розбиття  $n$ -елементної множини на підмножини, різні типи вибірок). Але в прикладних задачах вони виступають як аргумент цільової функції та в залежності від умови задачі можуть бути як скінченними, так і нескінченними, як з повтореннями, так і без повторень.

**Підхід, що пропонується.** Проводиться аналіз аргументу цільової функції (комбінаторних конфігурацій) для прикладних задач різних класів. Такий аналіз показав, що сполучення та розміщення з повтореннями можуть бути скінченними та нескінченними, а розбиття  $n$ -елементної множини на підмножини – як з повтореннями так і без повторень.

**Основна частина.** Під комбінаторною конфігурацією розуміємо будь-яку сукупність елементів, яка утворюється з усіх або з деяких елементів заданої базової множини  $A = \{a_1, \dots, a_n\}$  [1]. Позначимо її впорядкованою множиною  $w^k = (w_1^k, \dots, w_\eta^k)$ , де  $\eta \in \{1, \dots, n\}$  – кількість елементів у  $w^k$  (в подальшому  $\eta$  позначатимемо і як  $\eta^k$ ),  $W = \{w^k\}_1^q$  – множина комбінаторних конфігурацій. Верхній індекс  $k$  ( $k \in \{1, \dots, q\}$ ) у  $w^k$  позначає порядковий номер  $w^k$  у  $W$ ,  $q$  – кількість  $w^k$  у  $W$ .

Різноманітні типи комбінаторних конфігурацій утворюються за допомогою трьох рекурентних комбінаторних операторів: вибирання, транспозиція, арифметичний.

Дві нетотожні комбінаторні конфігурації  $w^k = (w_1^k, \dots, w_{\eta^k}^k)$  та  $w^i = (w_1^i, \dots, w_{\eta^i}^i)$  назвемо ізоморфними, якщо  $\eta^k = \eta^i$ .

Підмножину  $W_{\eta^k} \subset W$  назвемо підмножиною ізоморфних комбінаторних конфігурацій, якщо її елементи – ізоморфні комбінаторні конфігурації.

Вибірки (сполучення та розміщення з повтореннями та без повторень) упорядковуються підмножинами ізоморфних вибірок. Для фіксованого  $n$  на підмножині ізоморфних вибірок різних типів множина  $W_{\eta^k} \subset W$  – скінченна. На усій множині  $W$  для сполучення та розміщення без повторень вона також скінченна, а для сполучення та розміщення з повтореннями  $W$  – нескінченна. Для довільного  $n$  множина різних типів вибірок – нескінченна. Оскільки ці множини утворюються та впорядковуються за одними і тими ж правилами, то вони – самоподібні. Такі властивості характерні для фракталів.

Розбиття  $n$ -елементної базової множини є аргументом цільової функції в задачах розбиття (кластеризації, класифікації тощо). В залежності від поставленої задачі їхня множина може бути як скінченною, так і нескінченною, з повтореннями так і без повторень.

В задачі кластеризації елементи заданої скінченної базової множини розподіляються по підмножинах так, щоб вони не перетиналися, а їхнє об'єднання містить усі елементи заданої множини. В цьому разі утворена множина розбиттів – скінченна і без повторень.

В задачі класифікації розбиття може утворюватися з елементів базової нескінченної множини  $A$ , в якій  $a_l \in A$  для  $l = \overline{1, n}$  задано, а для  $l > n$  визначаються в процесі розв'язання задачі. З відомих елементів  $a_r \in A$ ,  $r = \overline{1, q'}$ , утворюємо часткове розбиття  $\tilde{A}$  множини  $A$  на  $\eta$  підмножин (блоків)  $\rho = (\rho_1, \dots, \rho_\eta)$ ,  $q' < n$  – кількість відомих елементів. Тоді множина підмножин  $\rho = (\rho_1, \dots, \rho_\eta)$  має такі характеристики:  $\rho_1 \cup \dots \cup \rho_\eta = A$ ,  $\rho_p \cap \rho_s = \emptyset$  або  $\rho_p \cap \rho_s \neq \emptyset$ ,  $p \neq s$ ,  $\rho_p \neq \emptyset$ ,  $p, s \in \{1, \dots, \eta\}$ . Непуста підмножина  $\rho_p = \{a_1, \dots, a_{\xi_p}\}$  може мати від 1 до  $q^*$  елементів ( $\xi_p \in \{1, \dots, q^*\}$ ),  $\eta \in \{1, \dots, q^*\}$ ,  $q^* > q'$ ,  $a_r = a_l$  або  $a_r \neq a_l$ ,  $a_r, a_l \in \rho_p$ ,  $r, l \in \{1, \dots, \xi_p\}$ . Тобто, множина розбиттів – нескінченна, а саме розбиття – з повтореннями.

До задач розбиття відноситься і задача покриття об'єктами заданої поверхні, яка формулюється так. Нехай задано поверхню з нанесеною на ній координатною сіткою. Послідовність комірок цієї сітки задамо упорядкованою множиною  $A$ . Елементи, які відповідають коміркам сітки, розміщені в  $A$  послідовно, починаючи з верхнього рядка сітки і до останнього, нижнього рядка. В цій задачі необхідно вибраними геометричними об'єктами оптимально покрити задану поверхню. За умовою поверхня може покриватися об'єктами так, що останні повністю її покривають. В цьому разі один і той же елемент із  $A$  може належати різним підмножинам. Змодельовавши її в рамках теорії комбінаторної оптимізації можна побачити, що аргументом цільової функції в ній є розбиття  $n$ -елементної множини на підмножини як з повтореннями так і без повторень.

**Висновок.** Отже, множини комбінаторних конфігурацій (сполучення та розміщення з повтореннями) можуть бути як скінченними так і нескінченними. В залежності від умови задачі комбінаторної оптимізації така комбінаторна конфігурація як розбиття  $n$ -елементної на підмножини може бути як з повтореннями так і без повторень, як скінченною так і нескінченною. Ці дослідження дозволяють адекватно будувати математичні моделі цих задач та розроблять ефективні алгоритми для їхнього розв'язання.

### Література

1. Тимофієва Н. К. Теоретико-числові методи розв'язання задач комбінаторної оптимізації. Автореф. дис... докт. техн. наук. Ін-т кібернетики ім. В. М. Глушкова НАН України. Київ. 2007. 32 с.

Ткачешак Н. В., аспірант,  
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу  
Горбійчук М. І., доктор технічних наук, професор,  
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

## РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ НАГНІТАЧА ПРИРОДНОГО ГАЗУ З ВИКОРИСТАННЯМ АНТИПОМПАЖНОГО КЛАПАНА

**Анотація.** Однією із найважливіших проблем при експлуатації газоперекачувальних агрегатів (ГПА) природного газу є забезпечення стійкої їх роботи. На основі рівнянь збереження кількості руху, збереження кількості речовини та рівняння балансу моментів нагнітача створена блок-схема взаємодії обчислювальних процедур при числовому моделюванні роботи відцентрового нагнітача (ВЦН), проведений синтез математичної моделі з використанням антипомпажного клапана. Отримана математична модель представляє ВЦН у вигляді динамічної системи, що відкриває можливості для використання цієї адекватної математичної моделі для синтезу автоматичних систем антипомпажного захисту, що забезпечить більш стійку роботу ГПА природного газу при їх експлуатації.

**Ключові слова:** стійкість, помпаж, процес керування, тиск, витрата, антипомпажний захист.

Трубопровідний транспорт природного газу є найефективнішим видом постачання палива і вуглеводневої сировини для промислових споживачів, як в Україні, так і за кордоном.

Однією із найважливіших проблем при експлуатації газоперекачувальних агрегатів (ГПА) природного газу є забезпечення стійкої їх роботи, тому цій проблемі присвячена значна кількість наукових публікацій. У тому випадку, коли з певних причин відбувається зменшення витрати природного газу через відцентровий нагнітач (ВЦН), відбувається збільшення тиску за ВЦН і подальше зменшення масової витрати, що тягне за собою зміну структури газового потоку. У результаті виникає таке явище як помпаж. При виникненні помпажу порушується осьова симетрія потоку. Явище помпажу супроводжується коливанням тиску, швидкості та витрати природного газу вздовж тракту ВЦН; зменшенням частоти обертання ротора; зростанням температури перед і за ВЦН. Шляхом аналізу публікацій встановлено, що нагнітач не розглядався як кібернетична система у термінах «вхід – вихід». Метою даних досліджень є встановлення функціонального взаємозв'язку між вхідними і вихідними величинами нагнітача, який розглядається як динамічна система, що дасть змогу інтегрувати розроблену модель до моделі «газоперекачувальний агрегат – мережа».

Для запобігання явищ помпажу, які можуть привести до катастрофічних наслідків, використовують автоматичні системи антипомпажного захисту. Синтез таких систем передбачає створення адекватних математичних моделей у термінах «вхід – вихід», що на сьогоднішній день є актуальною задачею.

На основі рівнянь збереження кількості руху, збереження кількості речовини та рівняння балансу моментів нагнітача, які отримані в роботі [1], створена блок-схема взаємодії обчислювальних процедур при числовому моделюванні роботи відцентрового нагнітача (рис. 1), проведений синтез математичної моделі та перевірка її адекватності, шляхом визначення коефіцієнта кореляції, за допомогою середовища нелінійного візуального моделювання Simulink програмного продукту Matlab.

Отримана математична модель представляє ВЦН у вигляді динамічної системи, в якій встановлюються функціональні взаємозв'язки між вхідними і вихідними величинами, що дає змогу інтегрувати розроблену модель до моделі «газоперекачувальний агрегат – мережа».

Однією із найважливіших задач, які необхідно розв'язувати при керуванні процесом компримування природного газу є синтез ефективної системи антипомпажного захисту нагнітачів природного газу. Найбільш ймовірною причиною, яка може призвести до швидкого

наближення робочої точки до лінії помпажу – це падіння частоти обертання ротора або швидке закриття дросельної засувки на всмоктуванні. При зниженні частоти обертання ротора нагнітача робоча точка рухається у напрямку границі помпажу досить швидко. При цьому розмір і швидкість відкриття антипомпажного клапану є набагато важливішим показником ніж швидкість оброблення інформації контролером [2], яка є значно вищою ніж реакція антипомпажного клапану.

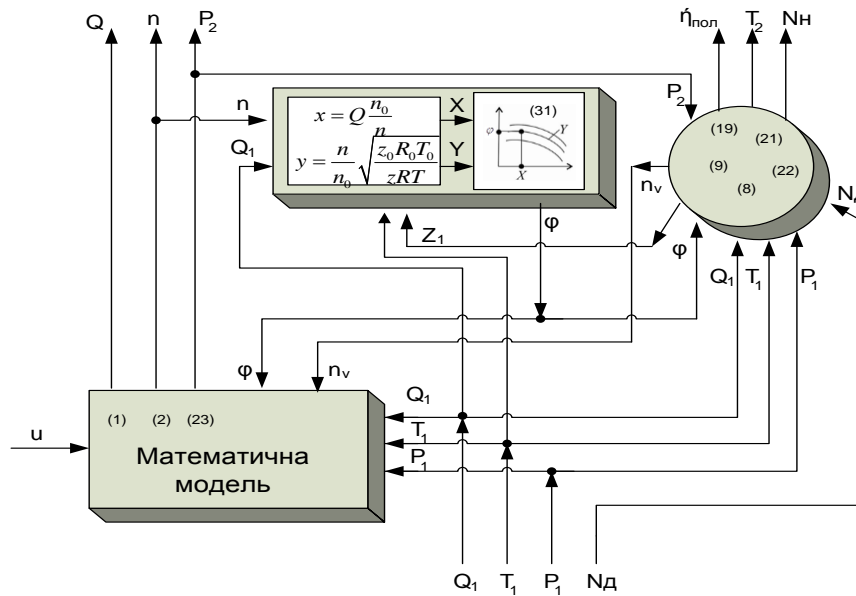


Рисунок 1 – Блок-схема обчислювального процесу

В даних дослідженнях для антипомпажного регулювання застосований такий клапан як кульовий антипомпажний клапан Metco [3].

Провівши математичне моделювання ми дійшли висновку, що технічні характеристики антипомпажного клапану відіграють важливу роль при математичному моделюванні процесів компримування природного газу.

Останні обставини відкривають можливості для використання таких адекватних математичних моделей в синтезі автоматичних систем антипомпажного захисту, як складового елемента для відлагодження і дослідження інтелектуальних систем керування компресорним агрегатом та створення технологій надійної та енергоефективної експлуатації компресорного обладнання в умовах недовантаження та роботи на не розрахункових режимах компримування газу на магістральних газопроводах, що забезпечить більш стійку роботу ГПА природного газу при їх експлуатації.

### Література

1. Горбійчук М. І., Когутяк М. І., Лагойда А. І., Ткачешак Н. В. Математичне моделювання явища помпажу у відцентровому нагнітачі природного газу. Нафтогазова енергетика. Всеукраїнський науково-технічний журнал. 2016. № 1 (25). С. 44—48.
2. Быкова В. Насколько быстрым должен быть контроллер, чтобы предотвратить помпаж в компрессоре. ООО «Инвенсис Проусесс Системс»: техническая статья. Электронные данные. Россия. Москва. 2012. <http://docplayer.ru/299698-Naskolko-bystryim-dolzhen-byt-kontroller-chtoby-predotvratit-pompazh-v-kompressore.html>.
3. Суриков В. Н., Горобченко С. Л., Голубев Н. Г. Пути развития противопомпажных клапанов. Трубопроводная арматура и оборудование: международный журнал. Электронные данные. Россия. Санкт-Петербург. ООО «Валверус-ГПА». № 6 (69). <http://www.valverus.info/popular/3184-puti-razvitiya-protivopompazhnyh-klapanov.html>.

Топалов А. М., аспірант,  
 Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова  
 Козлов О. В., кандидат технічних наук,  
 Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова  
 Кондратенко Ю. П., доктор технічних наук, професор,  
 Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

## МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ БАЛАСТНОЇ СИСТЕМИ ПЛАВУЧОГО ДОКУ ДЛЯ ЗАДАЧ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ

**Анотація.** У даній роботі наведено математичну модель баластної системи (БС) плавучого доку (ПД) як складного об'єкта керування. Запропонована математична модель дає змогу досліджувати динаміку даного об'єкта керування та може бути застосована при синтезі систем автоматичного керування доковими операціями ПД.

**Ключові слова:** плавучий док; баластна система; математичне моделювання.

**Постановка проблеми.** Автоматизація процесів керування доковими операціями ПД дозволяє суттєво підвищити точність керування їх основними робочими параметрами, а також енергетичні, економічні та експлуатаційні показники. Однією з головних задач автоматизації ПД є керування їх БС в автоматичних режимах під час виконання різнотипних докових операцій. Для дослідження ефективності процесів автоматичного керування БС ПД доцільно використовувати методи математичного та комп'ютерного моделювання [1].

**Метою даної роботи** є розробка та дослідження математичної моделі баластної системи плавучого доку як складного об'єкта керування.

**Математичне моделювання БС ПД.** До складу головних елементів БС ПД входять: баластні танки (БТ), магістральні лінії наповнення (ЛН) та спустошення (ЛС) БТ, насосні агрегати (НА), трубопроводи (ТП) та електрокеровані вентилі (ЕКВ) для наповнення та спустошення БТ. Функціональна структура фрагменту БС ПД наведена на рис. 1.

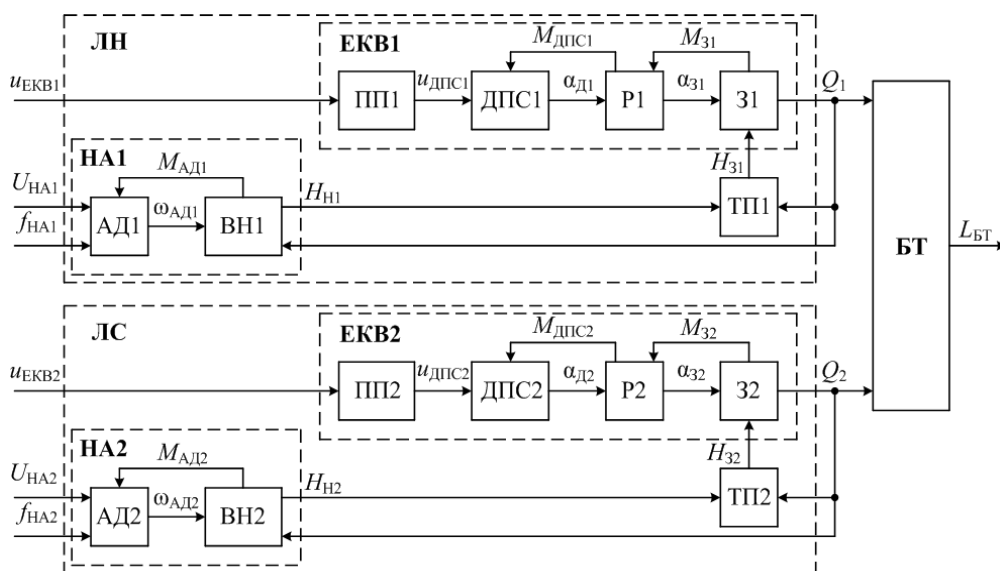


Рисунок 1 – Функціональна структура фрагменту баластної системи плавучого доку

На рис. 1. прийнято наступні позначення: ПП, ДПС, Р, З – перетворювач потужності, двигун постійного струму, редуктор та заслінка, що входять до складу кожного ЕКВ; АД, ВН – асинхронний двигун та відцентровий насос, що входять до складу кожного НА;  $u_{ЕКВ1}$ ,  $u_{ЕКВ2}$  – сигнали керування ЕКВ1 та ЕКВ2;  $u_{ДПС}$  – значення напруги керування ДПС;  $\alpha_{Д}$  – значення кутів

повороту ДПС;  $\alpha_3$  – значення кутів повороту заслінок;  $Q_1, Q_2$  – значення витрат баластної води через ЕКВ1 та ЕКВ2;  $M_{\text{ДПС}}$  – значення моментів навантаження ДПС;  $M_3$  – значення моментів навантаження заслінок;  $U_{\text{НА1}}, f_{\text{НА1}}, U_{\text{НА2}}, f_{\text{НА2}}$  – значення напруги та частоти керування НА1 та НА2, відповідно;  $\omega_{\text{АД}}$  – значення кутових швидкостей обертання АД;  $M_{\text{АД}}$  – значення моментів навантаження АД;  $H_{\text{Н1}}, H_{\text{Н2}}$  – значення напорів на виході НА1 та НА2;  $H_{31}, H_{32}$  – значення напорів на заслінках ЕКВ1 та ЕКВ2;  $L_{\text{БТ}}$  – рівень заповнення баластного танку.

Математична модель БС ПД складається з моделей БТ, З, ТП, ВН, ДПС та ПП, що описуються рівняннями (1)–(9). Також в даній математичній моделі застосовуються рівняння АД, що наведені в [2].

$$L_{\text{БТ}} = \frac{1}{S_{\text{БТ}}} \int (Q_1 - Q_2) dt; \quad (1)$$

$$Q = \frac{k_v}{36000} \sqrt{\frac{\rho g H_3}{1000}}; \quad (2)$$

$$k_v = f_v(\alpha_3) = f_v\left(\frac{\alpha_3}{K_p}\right); \quad (3)$$

$$H_3 = H_{\text{Н}} - \left[ h_{\text{ст}} + \left( \frac{\lambda}{d} + \sum \zeta + 1 \right) \frac{16Q^2}{\pi^2 d^4 2g} \right]; \quad (4)$$

$$H_3 = H_{\Phi} \left( \frac{\omega_{\text{АД}}}{\omega_{\text{АДН}}} \right)^2 - K_{\Phi} \cdot Q^2; \quad (5)$$

$$u_{\text{ДПС}} = R_{\text{д}} i_{\text{д}} + L_{\text{д}} \frac{di_{\text{д}}}{dt} + K_{\text{д}} \Phi_{\text{д}} \frac{d\alpha_{\text{д}}}{dt}; \quad (6)$$

$$J_{\Sigma} = \frac{d^2 \alpha_{\text{д}}}{dt^2} = K_{\text{д}} \Phi_{\text{д}} i_{\text{д}} - M_{\text{ДПС}}; \quad (7)$$

$$M_{\text{ДПС}} = \frac{1}{K_p} M_3 = \frac{1}{K_p} f_{\text{д}}(\alpha_3); \quad (8)$$

$$u_{\text{ЕКВ}} = \frac{1}{K_{\text{ПП}}} \left( T_{\text{ПП}} \frac{du_{\text{ДПС}}}{dt} + u_{\text{ДПС}} \right), \quad (9)$$

де:  $S_{\text{БТ}}$  – площа БТ;  $\rho$  – густина води;  $g$  – прискорення вільного падіння;  $k_v$  – коефіцієнт пропускної здібності З;  $f_v(\alpha_3)$  – нелінійна функція залежності  $k_v$  від кута  $\alpha_3$ ;  $K_p$  – передаточне число Р;  $h_{\text{ст}}$  – статична висота подачі ТП;  $\xi, \lambda$  – коефіцієнти місцевого опору та гідравлічного тертя ТП;  $l, d$  – довжина та внутрішній діаметр ТП;  $H_{\Phi}, K_{\Phi}$  – фіктивний напір та коефіцієнт гідравлічного фіктивного опору ВН;  $\omega_{\text{АДН}}$  – номінальне значення кутової швидкості обертання АД;  $\Phi_{\text{д}}, K_{\text{д}}, J_{\Sigma}$  – магнітний потік збудження, конструктивна стала та сумарний момент інерції ДПС;  $R_{\text{д}}, L_{\text{д}}, i_{\text{д}}$  – опір, індуктивність та струм якорного ланцюга ДПС;  $f_{\text{д}}(\alpha_3)$  – нелінійна функція залежності моменту  $M_3$  від кута  $\alpha_3$ ;  $K_{\text{ПП}}, T_{\text{ПП}}$  – коефіцієнт підсилення та стала часу ПП.

Результати комп'ютерного моделювання, отримані за допомогою вищенаведених рівнянь, докладно обговорюються в доповіді. Розроблена математична модель дозволяє досліджувати динаміку БС ПД та може застосовуватися при синтезі керуючих пристроїв систем автоматичного керування доковими операціями ПД.

### Література

1. Кондратенко Ю. П., Козлов О. В., Топалов А. М. Математичне моделювання докових операцій плавучого доку для малотонажних суден. Проблеми інформаційних технологій. Херсон. 2016. С. 117—130.
2. Онищенко Г. Б., Аксенов М. И. и др. Автоматизированный электропривод промышленных установок: учебное пособие. Москва. РАСНХ. 2001. 520 с.



Ухина А. В., аспирант,  
Одесский национальный политехнический университет  
Ситников В. С., доктор технических наук, профессор,  
Одесский национальный политехнический университет

## УПРАВЛЕНИЕ ПЕРЕСТРОЙКОЙ ХАРАКТЕРИСТИК ЧАСТОТНО-ЗАВИСИМОГО КОМПОНЕНТА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ СИСТЕМЫ

**Аннотация.** В работе рассмотрено влияние коэффициентов передаточной функции на характеристики компоненты, которое необходимо учитывать при проектировании компьютерных систем различного назначения. Получены соотношения для коэффициентов числителя и знаменателя, с учетом частоты среза и уровня пульсации.

**Ключевые слова:** перестройка характеристик, адаптивные системы, влияние коэффициентов, фильтр нижних частот, коэффициент передачи.

Специализированные компьютерные системы (СКС) становятся неотъемлемой частью современного общества. Такие системы встраиваются во всевозможные сферы жизни человека от сельского хозяйства до космоса.

Обычно подобные системы работают в сложной помехо-сигнальной обстановке, а это приводит к необходимости уделять внимание эффективности выполнения поставленных задач. В этих условиях повышение качества и эффективности работы системы состоит в применении адаптации, робастности, а также фильтрации сигналов, поступающих от интеллектуальных датчиков.

В большинстве реальных условий работы СКС приходится иметь дело с нестационарными сигналами, диапазон входных воздействий, которых известен приблизительно, и может меняться сложным образом во времени. Использование в таких случаях частотно-зависимых компонент (ЧЗК) определенного вида с постоянной структурой не дает существенного результата. Поэтому в современных системах обработки сигналов, поступающих от интеллектуальных датчиков, большое значение имеют адаптивные компоненты фильтрации, в состав которых входят компоненты с перестраиваемыми параметрами. Следует отметить, что создание и широкое применение интеллектуальных датчиков – это один из признаков информационной стадии развития общества [1].

Целью данной работы является анализ влияния коэффициентов передаточной функции на характеристики компоненты и управления ими, с целью упрощения управления перестройкой.

Следует отметить, что ЧЗК СКС описываются уравнениями аналогичными цифровым фильтрам. Рассмотрим передаточную функцию цифрового фильтра нижних частот (ФНЧ) первого порядка, с учетом  $a_0 = |a_1|$ ,  $a_0 > 0$ , :

$$H(z) = a_0 \frac{1 + z^{-1}}{1 + bz^{-1}} \quad (1)$$

А частотно-зависимый коэффициент передачи ФНЧ описывается выражением:

$$H(\bar{\omega}) = \frac{2a_0 \cos\left(\frac{\bar{\omega}}{2}\right)}{\sqrt{(1+b)^2 - 4b \sin^2\left(\frac{\bar{\omega}}{2}\right)}} \quad (2)$$

Исходя из того что коэффициент передачи на нулевой частоте нормированного фильтра первого порядка равен единице –  $H(0)=1$ , то коэффициент числителя (1), при условии устойчивости фильтра  $|b| < 1$ , будет равен:

$$a_0 = \frac{1+b}{2}, \quad (3)$$

а АЧХ нормированного ФНЧ

$$H(\bar{\omega}) = \frac{(1+b)\cos\left(\frac{\bar{\omega}}{2}\right)}{\sqrt{(1+b)^2 - 4b\sin^2\left(\frac{\bar{\omega}}{2}\right)}}. \quad (4)$$

В зависимости от решаемой задачи частота среза  $\bar{\omega}_c$  ЧЗК определяется на уровне  $c$ ,  $0 < c < 1$ . Поэтому при задании уровня  $c$  можно определить частоту среза  $\bar{\omega}_c$ .

$$\bar{\omega}_c = \arccos \left( \frac{1 - 2c^2 \frac{1+b^2}{(1+b)^2}}{1 - 4c^2 \frac{b}{(1+b)^2}} \right). \quad (5)$$

Для ФНЧ первого порядка получена формула определения коэффициента знаменателя  $b$  передаточной функции (1) в зависимости от частоты среза  $\bar{\omega}_c$  и уровня колебательности  $c$ :

$$b = - \left\{ 1 - \frac{2c^2 \sin^2\left(\frac{\bar{\omega}_c}{2}\right)}{c^2 - \cos^2\left(\frac{\bar{\omega}_c}{2}\right)} \left( 1 - \frac{\cos\left(\frac{\bar{\omega}_c}{2}\right) \sqrt{1-c^2}}{\sin\left(\frac{\bar{\omega}_c}{2}\right) c^2} \right) \right\}. \quad (6)$$

Однако для реализации такое представление зависимости коэффициента знаменателя  $b$  от частоты среза  $\bar{\omega}_c$  и уровня колебательности  $c$  не совсем удачно. Введем некоторую фиктивную величину  $\xi$  так, чтобы:

$$c = \cos\left(\frac{\xi}{2}\right), \quad (7)$$

или  $\xi = 2\arccos(c)$ .

Тогда после подстановки (7) в (6) можно получить более простое выражение для реализации ЧЗК типа ФНЧ.

$$b = \frac{\sin\left(\frac{\bar{\omega}_c - \xi}{2}\right)}{\sin\left(\frac{\bar{\omega}_c + \xi}{2}\right)}. \quad (8)$$

Таким образом, в работе показано, что при использовании цифрового перестраиваемого ЧЗК первого порядка типа ФНЧ с передаточной функцией (1) в качестве закона управления частотой среза можно использовать функцию от коэффициента знаменателя  $b$ . Анализ помехо-сигнальной обстановки позволяет определить необходимую частоту среза, а по формуле (8) определить желаемое значение коэффициента  $b$ .

### Литература

1. Войтович И. Д., Корсунский В. М. Интеллектуальные сенсоры. Москва. БИНОМ. 2011. 624 с.

## ВИЯВЛЕННЯ ЯВИЩА ПОМПАЖУ У ВІДЦЕНТРОВИХ НАГНІТАЧАХ ГАЗОПЕРЕКАЧУВАЛЬНИХ АГРЕГАТІВ

**Анотація.** Розглядається питання виявлення явища помпажу у відцентрових нагнітачах газоперекачувальних агрегатів з газотурбінним приводом дотискувальної компресорної станції підземного сховища газу. Визначено, що для ефективного антипомпажного управління необхідно контролювати положення робочої точки нагнітача на його газодинамічній характеристиці.

**Ключові слова:** антипомпажний захист, газодинамічна характеристика, робоча точка.

Сучасна газотранспортна система представлена численними нитками газопроводів, компресорними станціями, газорозподільними станціями та іншими об'єктами. Важливим фактором надійної роботи нагнітальних машин є газодинамічна стійкість їх роботи. Режим нестійкої роботи (помпаж) часто викликає інтенсивні коливання газу в системі, які здатні привести до аварії або значного пониження надійності та ресурсу трубопроводів.

Вивчення помпажу проводиться як в спрощеній постановці – компресор являє собою систему із зосередженими параметрами, яка описується звичайними диференційними рівняннями, так і в загальному випадку, коли компресор з мережею є розподіленою системою, яка описується диференційними рівняннями з частинними похідними. При цьому в першому випадку для опису процесу використовується система виду [1]:

$$\begin{cases} L_0 \dot{Q}_0 = F(Q_0) \\ C_0 \dot{P} = Q_0 - G(p), \end{cases} \quad (1)$$

де:  $C_0, L_0$  – деякі залежності від  $P, Q_0$  характеристики компресора,  $F(Q_0), G(p)$  – неперервні та безкінечно диференційовані функції від об'ємної витрати  $Q_0$  та тиску  $P$  перед вхідним дротелем.

Умови помпажу при цьому встановлюється за наступною схемою: лінеаризуючи (1) для м'якого помпажу  $C_0, L_0$  можна вважати сталими величинами, для жорсткого помпажу необхідно враховувати їх структуру в залежності від  $P, Q_0$ . Проводиться дослідження стійкості лінеаризованої системи, що складається з двох рівнянь з двома невідомими за критерієм Рауса – Гурвіца [2], при цьому жорсткому помпажу відповідають випадки, коли дійсні частини коренів характеристичного рівняння будуть додатними, а м'якому – коли власні корені матимуть нульові дійсні частини. Критерій Рауса – Гурвіца дозволяє чітко встановлювати умови статичної стійкості та умови самозбудження коливань. В другому випадку досліджується на стійкість система, що включає в себе рівняння гідродинаміки та рівняння стану [1], при цьому вивчається реакція системи на малі збурення параметрів. При цьому вказаний аналіз може бути проведений також з використанням аналізу числових розв'язків методом скінченних різниць, при реалізації яких вдається виділити зони втрати стійкості течією [2].

Будь-який відцентровий нагнітач, що працює на природному газі, характеризується мінімальною масовою витратою, нижче якої відбувається помпаж. Він виникає тоді, коли динамічний напір, що створюється нагнітачем потоку газу недостатній, щоб врівноважити перепад тиску на нагнітачі.

Роботу компресора можна представити у вигляді кривої залежності між нарощуванням питомого енергозмісту газу (напору) і об'ємною витратою. Криві показують (рис. 1), що збільшення тиску обумовлюється зростанням об'ємної витрати. З ростом опору робоча точка зміщується вгору і вліво (оскільки для підтримки постійної витрати необхідно встановити більш високий тиск). Зрештою настає момент, коли компресор вже не здатний збільшувати

енерговміст газу настільки, щоб долати зростаючий опір мережі, і досягається точка мінімальної витрати і максимального напору. Всі подібні точки визначають криву, яка називається лінією межі помпажу [3].

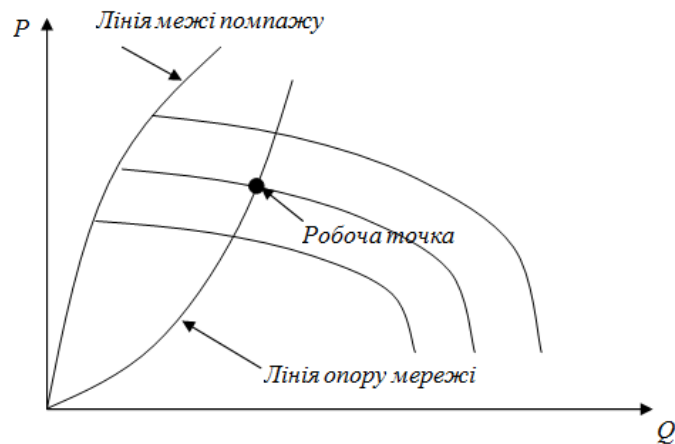


Рисунок 1 – Робоча точка і лінія межі помпажу на газодинамічній характеристиці компресора

Спроба працювати зліва від лінії межі помпажу обумовлює його виникнення. Об'ємна витрата і тиск нагнітання починають різко пульсувати, поки опір мережі не знизиться до рівня, достатнього для відновлення стійкої робочої точки, тобто рівня. Щоб уникнути подібної ситуації, необхідно утримувати робочу точку праворуч від лінії межі помпажу. Це досягається відкриттям антипомпажного клапана для повернення частини газу з боку нагнітання на сторону всмоктування або викиду частини газу в атмосферу з метою підтримки необхідної мінімальної об'ємної витрати. Даний алгоритм повинен реалізовуватися за допомогою антипомпажного регулятора, що виконує постійний розрахунок робочої точки і створює вплив на захисні пристрої. Однак керуючий вплив необхідно здійснити перш, ніж робоча точка досягне межі помпажу.

Отже, для ефективного антипомпажного управління необхідно контролювати положення робочої точки нагнітача на його газодинамічній характеристиці, а також визначити коефіцієнт, який являє собою відстань між робочою точкою і лінією контролю помпажу.

### Література

1. Казакевич В. В. Автоколебания (помпаж) в компрессорах. Москва. Машиностроение. 1974. 264 с.
2. Олійник А. П., Скрип'юк Р. Б., Шеремета В. Б. Дослідження стійкості течії з малими збуреннями та умов виникнення турбулентності. Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2014. № 2(7). С. 36—41.
3. Михайлов Д. Я. Расчёт предпомпажных состояний газотурбинной установки. Молодой ученый. 2009. №2. С. 18—22.

## СИСТЕМЫ ГАРАНТИРУЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ: НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ С ОГРАНИЧЕНИЯМИ ТИПА «АВАРИЙНАЯ СИТУАЦИЯ»

**Аннотация.** Рассматриваются возможности САУ, реализующих, наряду с традиционными системообразующими функциями, новую функцию – гарантированного соблюдения ограничений регламента.

**Ключевые слова:** автоматическое управление, аварийная ситуация, гарантированное предотвращение.

1. Для многих объектов управления (ОУ) на их режимные переменные регламентами наложены ограничения. Нарушения ограничений приводят к возникновению аварийных ситуаций и, как следствие, к аварийным остановам ОУ, потерям сырья, браку готовой продукции, перерасходу энергоресурсов, быстрому износу оборудования и т.д. Проблема усугубляется, если наиболее эффективные режимы близки к предельно допустимым (аварийным), а ОУ являются существенно нестационарными, подвержены интенсивным неконтролируемым возмущениям, имеют запаздывание в каналах управления.

Решение этой проблемы требует совершенствования систем автоматического управления (САУ). Однако, совершенствование традиционных функций САУ (прежде всего – функций регулирования и оптимизации) принципиально не могут ее решить. Поэтому, совершенствование САУ должно идти по пути расширения состава реализуемых функций, прежде всего – системо-

образующих функций. Такой новой для САУ функцией, актуальность которой была обоснована выше, является функция гарантирования, т.е. гарантированного, с наперед заданной вероятностью, соблюдения ограничений, установленных регламентами. Появление в САУ новой системообразующей функции дает основания рассматривать системы, реализующие эту функцию, как новый класс САУ, названный системами гарантирующего управления (СГУ) [1].

2. Концепция, составляющая основу СГУ, предполагает непрерывное оценивание системой в реальном времени текущего значения вероятности соблюдения регламента и такой корректировке режима работы ОУ, которая обеспечит необходимое значение этой вероятности. Это оценивание требует разработки специальной модели, которая позволит по оценкам характеристик доступных для измерения переменных получить необходимую. Такая модель названа моделью нарушения регламента (МНР), ее основа – теория выбросов случайных процессов.

Многообразие СГУ отражается их особенностями: а) регламентов; б) последствий их нарушений; в) характером изменения эффективности ОУ при изменениях режима; г) переменных, на которые наложены ограничения; д) вариантов структуры СГУ; е) конкретного вида МНР. На рис. 1 приведены базовые структурные схемы замкнутых СГУ для случая, когда регламентированная переменная  $y(t)$  является регулируемой, а регламентом для  $y(t)$  установлено ограничение «сверху»  $y^{pp+}(t)$ .

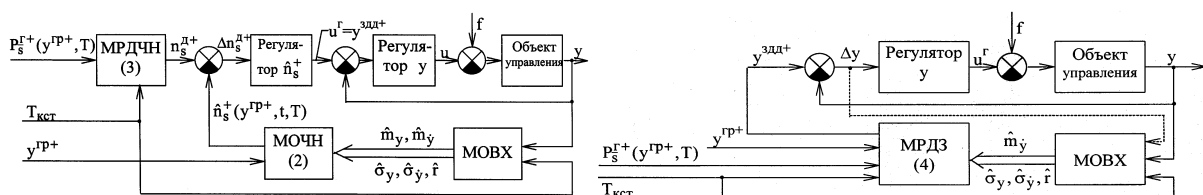


Рисунок 1 – Базовые структурные схемы замкнутых СГУ

Алгоритмы гарантирующего управления в СГУ по рис. 1 реализуются модулями оценки частоты нарушений (МОЧН) регламента либо расчета допустимого заданного значения (МРДЗ). Их основу составляет МНР, реализуемая в форме прямой (рис. 1 «а» – формирование гарантирующего управления  $u^2(t)$  в контуре стабилизации оценки частоты нарушений) или обратной задачи (рис. 1 «б» – непосредственный расчет  $u^2(t)$  по МНР). Альтернативные варианты алгоритмов строятся на частных случаях МНР для  $y(t) = m_y(t) + \tilde{y}^0(t)$  как случайного процесса. Для нестационарной модели математического ожидания  $m_y(t)$  и квазистационарной модели и центрированной составляющей  $\tilde{y}^0(t)$  алгоритмы МОЧН и МРДЗ имеют вид:

$$\hat{n}_y^+(y^{2p^+}, t) = \frac{\hat{\sigma}_y(t)}{2\pi\hat{\sigma}_y(t)} \exp\left\{-\frac{1}{2} \text{sign}\Delta y^+ \left(\frac{y^{2p^+} - \hat{m}_y(t)}{\hat{\sigma}_y(t)}\right)^2\right\} \cdot \left\{ \exp\left(-\frac{\hat{m}_y^2(t)}{2\hat{\sigma}_y^2(t)}\right) - \sqrt{2\pi} \frac{\hat{m}_y(t)}{\hat{\sigma}_y(t)} \Phi\left(-\frac{\hat{m}_y(t)}{2\hat{\sigma}_y(t)}\right) \right\};$$

$$y^{3\partial\partial^+}(t) = y^{2p^\pm} - \hat{\sigma}_y(t) \sqrt{2 \ln \left| \frac{T\hat{\sigma}_y(t)}{2\pi\hat{\sigma}_y(t) \ln P_s^c(y^{2p^\pm}, T)} \left\{ \exp\left(-\frac{\hat{m}_y^2(t)}{2\hat{\sigma}_y^2(t)}\right) - \frac{\sqrt{2\pi}\hat{m}_y(t)}{\hat{\sigma}_y(t)} \Phi\left(\frac{\hat{m}_y(t)}{\hat{\sigma}_y(t)}\right) \right\} \right|},$$

где:  $P_s^c(y^{2p^\pm}, T)$  – наперед заданное (гарантируемое) значение вероятности отсутствия нарушений ограничений  $y^{2p^+}$  на интервале времени  $T$ ;  $\hat{\sigma}_y(t)$ ,  $\hat{\sigma}_{\dot{y}}(t)$  – оценки среднеквадратических отклонений  $\tilde{y}^0(t)$ , вычисляемые на скользящем интервале времени  $T_{кст} \leq T$ ;  $\hat{m}_y(t)$ ,  $\hat{m}_{\dot{y}}(t)$  – оценки изменяющегося  $m_y(t)$  и его первой производной, вычисляемые на скользящем интервале времени  $T_m \ll T_{кст}$ ,  $T_{кст}$  – интервал квазистационарности.

Расчет этих оценок реализуется модулем МОВХ, см. рис. 1, в реальном времени.

3. Иллюстрацию возможностей СГУ дает рис. 2, где сравнивается характер изменения переменной  $y(t)$  (ограничена «сверху»,  $y^{2p^+} = 16$ ), в обычной САР (а) и в СГУ (б) для нестационарного ОУ. Приближение к границе  $y^{2p^+}$  снижает удельные затраты на ведение процесса в ОУ, но нарушение  $y^{2p^+}$  приводит к возникновению аварийной ситуации. Для наглядности сравнения заданное значение  $y^{3\partial}$  в САР было подобрано, так, чтобы на интервале моделирования не было бы выхода  $y(t)$  за  $y^{2p^+} = 16$  и, одновременно,  $y(t)$  была бы как можно ближе к  $y^{2p^+}$ . На практике такая настройка для САР невозможна, а снижение вероятности аварийной ситуации потребует гораздо большего удаления  $y^{3\partial}$  от  $y^{2p^+}$ , и дополнительных энергозатрат на ведение процесса.

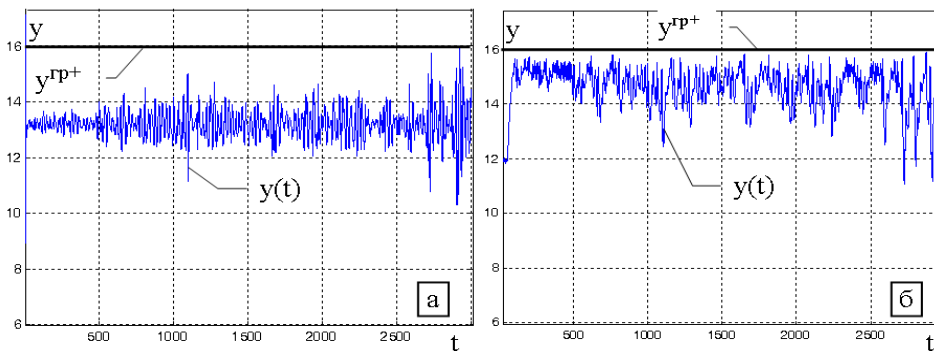


Рисунок 2 – Характер изменения регламентированной переменной  $y(t)$  в обычной САР (а) и в СГУ (б)

Применение СГУ возможно и целесообразно для любых ОУ, где регламентированные переменные адекватно рассматривать как случайные процессы и регламент включает в себя ограничения на диапазоны их изменения. Эффективность применения таких систем будет тем выше, чем тяжелее последствия нарушений регламента, и, чем ближе наиболее эффективные режимы ОУ приближаются к ограничениям.

### Литература

1. Хобин В. А. Системы гарантирующего управления технологическими агрегатами: основы теории, практика применения: монография. Одесса. ТЭС. 2008. 304 с.

Хобін В. А., доктор технічних наук, професор,  
Одеська національна академія харчових технологій  
Левінський М. В.,  
Одеська національна академія харчових технологій

## САМОНАЛАГОДЖУВАЛЬНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ОБ'ЄКТОМ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ТИПУ

**Анотація.** Розглядається самоналагоджувальна система автоматичного регулювання об'єктом технологічного типу, параметричні збурення на який відображаються в змінах його коефіцієнта передачі. Інформативним параметром останнього є оцінка імовірнісної характеристики складової власного руху системи регулювання, яка визначається на ковзному інтервалі часу. Сама середньочастотна складова власного руху виділяється із загального руху регульованої змінної за допомогою смугової фільтрації від низькочастотної складової наслідків координатних збурень і від високочастотної складової наслідків впливу шумів.

**Ключові слова:** самоналагоджувальна система, власний рух, смугова фільтрація.

Питання удосконалення систем самоналагодження було й залишається актуальним при керуванні об'єктами технологічного типу, тому що зміни властивостей сировини й енергоносіїв, деградація устаткування в ході технологічного процесу змінюють не тільки значення керованих змінних, але й характер власного руху систем автоматичного регулювання (САР) у замкнутому контурі. У математичних моделях такі впливи відносять до параметричних збурень і відображають їх у тому числі за допомогою змінного коефіцієнта передачі  $k_o(t)$  об'єкта керування. Для ряду технологічних об'єктів керування (ОК) діапазон його зміни може перевищувати значення десять. При цьому типові САР з незмінними параметрами регулятора втрачають стійкість «у малому» і переходять у позиційний режим роботи. Щоб зберегти компроміс між показниками якості й стійкістю процесів у САР такими ОК, необхідно використовувати самоналагодження параметрів регулятора.

Як правило, нормативи й правила виконання технологічних процесів накладають обмеження на алгоритми (способи) самоналагодження. Самоналагодження за рахунок подачі на систему керування штучних тестових сигналів, перевід її в розімкнутий режим або на межу стійкості часто неприйнятні, тому що виникає ризик порушень регламентів. У таких умовах, на наш погляд, кращими є алгоритми самоналагодження, які припускають пасивну ідентифікацію поточних значень змінного коефіцієнта передачі  $k_o(t)$  ОК. Вона використовує *природно* виникаючі рухи керованої змінної  $y(t)$  у замкнутому контурі системи керування при впливі на процес зовнішніх неконтрольованих координатних збурень  $f_k(t)$  і шумів  $f_n(t)$  випадкового характеру. Така можливість з'являється завдяки тому, що для більшості ОК технологічного типу в спектральному складі керованої змінної  $y(t)$  вдається виділити складову власного руху САР (її замкнутої контуру), яка проявляється у вигляді випадкових коливань середньої частоти  $y_c(t)$  на тлі більш низькочастотних коливань  $y_l(t)$ , викликаних координатними збуреннями  $f_k(t)$ , і більш високочастотних коливань  $y_n(t)$ , викликаних шумами  $f_n(t)$ . Для виділення  $y_c(t)$  доцільно використовувати лінійні смугові фільтри, рекомендації з вибору яких наведені в [1]. Оскільки  $y_c(t)$  – випадковий процес, то змінний у часі коефіцієнт передачі  $k_o(t)$  ОК будуть характеризувати не миттєві значення  $y_c(t)$ , а його усереднені в часі параметри, зокрема, оцінка його дисперсії  $D^o y_c$ , отримана на ковзному інтервалі часу. В [1] показано, що оцінка  $D^o y_c$  пропорційна квадрату  $k_o(t)$  ОК.

Самоналагоджувальна система (САРС) складається із САР, алгоритм регулювання якої сформований по рекомендаціях [2], і контуру самоналагодження. Останній включає до свого складу модель ОК по каналу керування, два ідентичні смугові фільтри, обчислювачі оцінок імовірнісних характеристик фільтрованих змінних  $y_c(t)$ ,  $y_{cm}(t)$  ОК і його моделі, а також регулятор параметра – коефіцієнта передачі  $k_m(t)$  моделі ОК. Даний регулятор у реальному часі відслідковує зміни  $k_o(t)$  ОК, налаштовуючи коефіцієнт передачі  $k_m(t)$  моделі. Поточне значення  $k_m(t)$  з виходу регулятора параметра надходить на обчислювач, який визначає значення

коефіцієнта передачі  $k_p(t)$  регулятора САР, що забезпечує заданий ступінь її стійкості [3].

Щоб зменшити вплив на точність самоналагодження  $k_m(t)$  фазових зрушень між змінними  $y_c(t)$ ,  $y_{cm}(t)$ , які неминуче виникають при невідповідності параметрів ОК і його моделі, а також внаслідок неідеальної фільтрації наслідків координатних збурень  $f_k(t)$ , запропонований алгоритм, що блокує формування оцінок імовірнісних характеристик несинфазними значеннями  $y_c(t)$ ,  $y_{cm}(t)$ .

Також на точності самоналагодження  $k_m(t)$  позначається змінний коефіцієнт передачі контуру самоналагодження, який залежить від змін  $k_o(t)$  ОК. Щоб зменшити цей вплив, запропонована стабілізація коефіцієнта передачі контуру самоналагодження за рахунок масштабування оцінок імовірнісних характеристик  $y_c(t)$ ,  $y_{cm}(t)$ .

Оскільки в структурі САРС є кілька взаємозалежних контурів регулювання, нелінійні й нестаціонарні ланки, то аналітичне рішення задач її аналізу ускладнене. Тому для дослідження системи обрано імітаційне моделювання в середовищі Simulink пакета програм Matlab, у якому проведений багатофакторний комп'ютерний експеримент із моделями ОК й збурень, характерними для об'єктів технологічного типу. За результатами експерименту можна зробити наступні висновки.

### Висновки

1. Результати моделювання САРС підтверджують теоретичні обґрунтування можливості ідентифікації змінного коефіцієнта передачі ОК в замкнутому контурі САР за рахунок виділення власної складової із загального руху регульованої змінної, який виникає під впливом координатних збурень.

2. Вплив параметрів контуру самоналагодження на інтегральний квадратичний показник помилки САР носить екстремальний характер, що робить доцільною процедуру оптимального параметричного синтезу даного контуру.

3. Контур самоналагодження САРС зберігає працездатність, у тому числі стійкість, у широкому діапазоні змін спектрального складу координатних збурень і шумів.

4. Підвищення ефективності, зокрема, точності роботи САРС до змінного коефіцієнта передачі об'єкта керування й підвищення робастності системи до варіацій параметрів ОК і його моделі можливе за рахунок реалізації наступних функцій:

- підвищення стійкості й динамічної точності контуру самоналагодження;
- зменшення впливу фазових зрушень фільтрованих керованих змінних об'єкта і його моделі на формування оцінок їх імовірнісних характеристик;
- стабілізації коефіцієнта передачі контуру самоналагодження.

### Література

1. Khobin V. A., Levinskyi M. V. Filters research for free motion extraction in self tuning automatic control systems. ATBP journal. 2016. № 3 (27). 5-16.

2. Khobin V. A., Levinskyi M. V. Problem to picality of offset absence order increase in controllers during control of objects with varying transmission coefficient. ATBP journal. 2016. № 2 (26). 31-38.

3. Хобін В. А., Левінський М. В. Оптимізація фільтрів власного руху самоналагоджувальної САУ об'єктом технологічного типу. Радіоелектроніка, інформатика, управління. 2016. №4. С. 120—129.



## ПРОБЛЕМАТИКА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОГО УПРАВЛІННЯ КОМБІНОВАНОЮ ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЧНОЮ ВОДООЧИСТКОЮ ПРОМИСЛОВИХ СТОКІВ

**Анотація.** Обґрунтовано проблематику, яка має місце при створенні систем управління комбінованою електротехнологічною очисткою стічних вод промислових об'єктів; сформульовано завдання вирішення яких забезпечить синтез відповідних енергоефективних науково-технічних рішень.

**Ключові слова:** система управління, водоочистка, електротехнологія, нештатна ситуація.

Концентрація забруднень навколишнього природного середовища на 1 км<sup>2</sup> в Україні у 6,5 разів більше, ніж у США, і 2-3 рази, в порівнянні з країнами Європейського Союзу. У 2014 році, наприклад, у водні об'єкти зі стоками надійшло 460 тон нафтопродуктів, 840 тисяч тон сульфідів, 760 тисяч тон хлоридів, 58 тисяч тон нітратів – найнебезпечніші із них потрапляють із сточними водами різногалузевих промислових об'єктів. Для України така ситуація несе особливу екологічну небезпеку, адже 75% питного водопостачання у нас здійснюється за рахунок поверхневих вод.

При цьому вартість ефективної очистки 1 м<sup>3</sup> стічних вод коливається в широких межах і залежить від: якості води яка подається на установки, функціональних параметрів обладнання водоочистки та вимог щодо якості води після обладнання (повторне використання, скидання в природні водойми або каналізацію тощо). Усі сучасні методи видалення забруднювачів із стічних вод потребують застосування електротехнічних комплексів, у яких відбувається перетворення електричної енергії в інші види енергії з одночасним здійсненням технологічних процесів. Ступінь залучення електротехнологій становить 15-90% [1]. При цьому, як одні із найбільш інтенсивних та прогресивних, виділяються фізико-хімічні методи [1], де саме електротехнологічні підходи лежать в основі водоочистки: електрокоагуляція, електрофлотація, електродіаліз, електродеструкція, озонування тощо.

Оцінка досвіду виробничого використання промислових систем очистки стічних вод продемонструвала ряд суттєвих недоліків кожного із підходів [2]. Для систем, які застосовують фізичні (механічні) методи такими недоліками є: можливість створення, в результаті часткового засмічення фільтруючих елементів, колоній бактерій на працюючих засобах водоочистки (фільтрах, картриджах); накопичення шкідливої для людини і природи відфільтрованої маси (фільтри, центрифуги, відстійники, гідроциклони); проточний безперервний режим роботи (фільтри, центрифуги, гідроциклони).

Недоліки фізико-хімічних методів: знищення тільки самих вірусів, мікробів і бактерій, а не більш шкідливих продуктів їх життєдіяльності (ультразвук, опромінення, озонування); знищення корисної (необхідної для людини) мікрофлори (ультразвук, озонування, опромінення); обмеженість ефекту післядії і проникаючої здатності при високій концентрації забруднювача (озонування, опромінення, ультразвук).

Недоліки хімічних методів: висока ймовірність утворення в результаті хімічних реакцій нових з'єднань, які більше шкідливі для людини і навколишнього середовища, ніж початкові забруднювачі (весь перелік обладнання); накопичення великого обсягу шкідливих комплексів "відпрацьований реагент + забруднювач" (коагуляція, флокуляція); знищення корисної мікрофлори (хлорування); наявність реагентного господарства, яке саме і є забруднювачем навколишнього середовища (весь перелік обладнання).

Недоліки біологічних методів: високі вимоги щодо дотримання технології (температура, рН); відповідно, великі витрати енергоресурсів (весь перелік обладнання); можливість повної зупинки при "залпових" викидах хімічно активних шкідливих речовин (весь перелік

обладнання); велика складність і витратність інтенсифікації (прискорення) процесів очистки (вермикультури, біологічні ставки).

При цьому існують фактори, які викликають негативні результати роботисистем управління методами видалення забруднювачів водоочистки у виробничих умовах (рис. 1): можливість дії непередбачуваних нештатних ситуацій природного та техногенного походження; відсутність повноти метрологічної інформації щодо конкретного комбінованого процесу водоочистки (на кожному об'єкті свої параметри налаштування обладнання для забезпечення ефективності); багатофакторність біо-фізико-хімічних характеристик процесів; відсутність або низькі точність і швидкодія сучасних засобів автоматичних вимірювань якості стічної води.

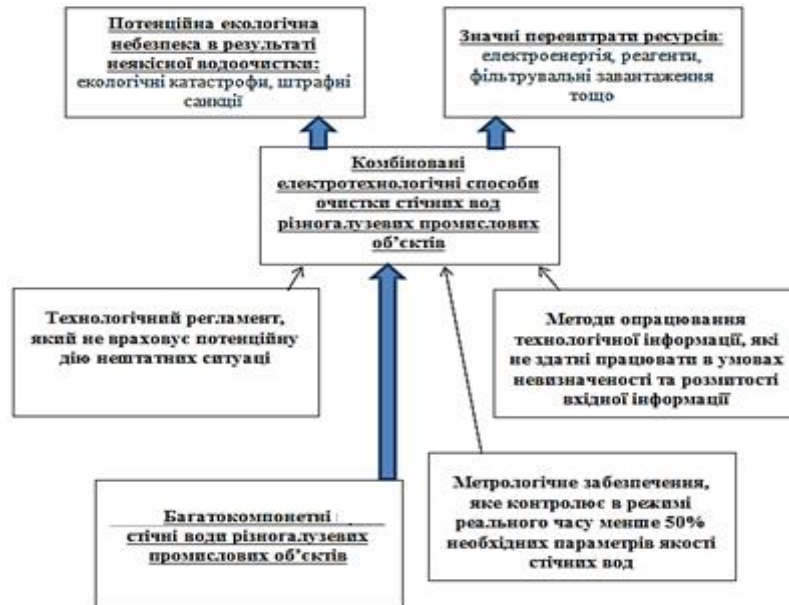


Рисунок 1 – Проблемна область забезпечення енергоефективності комбінованої електротехнологічної очистки стічних вод різногалузевих промислових об'єктів

Відповідно, можна сформулювати наступні завдання, вирішення яких дозволить покращити енергоефективність процесів очистки стічних вод промислових об'єктів:

- Розробка концептуальних моделей інтелектуальних автоматизованих систем отримання і ефективного опрацювання метрологічної інформації стосовно режимів комбінованих електротехнологічних установок очистки стічних вод різногалузевих промислових об'єктів за умов невизначеності з врахуванням впливу нештатних ситуацій;

- Створення інструментального електротехнологічного комплексу моделювання комбінованої електротехнологічної водоочистки та дослідження режимів функціонування комбінованих установок водочистки; аналіз закономірностей енергоефективності електротехнологічних процесів очистки багатокомпонентних стічних вод різногалузевих промислових об'єктів;

- Розробка методів синтезу інформаційно-функціональних моделей отримання та ефективного опрацювання метрологічної інформації для управління режимами комбінованих електротехнологічних установок водоочистки на різногалузевих промислових об'єктах;

- Інструментальна реалізація інформаційно-функціональних моделей та інтелектуальних автоматизованих систем отримання і ефективного опрацювання метрологічної інформації енергоефективного управління режимами комбінованих електротехнологічних установок очистки стічних вод різногалузевих промислових об'єктів з врахуванням впливу нештатних ситуацій.

### Література

1. Штепа В. Н. Концептуальные основы энергоэффективной системы управления комбинированными системами водоочистки. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. Энергетика. 2016. № 5. С. 479—487.

2. Штепа В. М. Обґрунтування алгоритму експериментально-аналітичних досліджень режимів електротехнічної очистки стічних вод агропромислових об'єктів з метою побудови енергоефективних систем управління. Энергетика і автоматика. 2014. № 1 (11). С. 61—71. [http://nbuv.gov.ua/j-pdf/eia\\_2014\\_2\\_10.pdf](http://nbuv.gov.ua/j-pdf/eia_2014_2_10.pdf).

Шуруб Ю. В., кандидат технічних наук, доцент,  
 Національний університет біоресурсів і природокористування України  
 Дудник А. О., кандидат технічних наук, доцент,  
 Національний університет біоресурсів і природокористування України

## ОПТИМІЗАЦІЯ РЕГУЛЯТОРІВ АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ ПРИ СТОХАСТИЧНИХ НАВАНТАЖЕННЯХ У РОБОЧИХ ТА ПУСКОВИХ РЕЖИМАХ

**Анотація.** Сформовані критерії оптимізації законів регулювання асинхронними електроприводами із стохастичними навантаженнями, що забезпечують оптимальне енергоспоживання у робочих режимах при збереженні номінальних пускового моменту та перевантажувальної здатності.

**Ключові слова:** асинхронний електропривод, стохастичне навантаження, оптимальний регулятор.

**Постановка проблеми.** Велика кількість електроприводів, що використовуються в механізмах сільськогосподарського та комунального призначення, мають стохастичні моменти навантаження, які не дають можливість реалізувати енергоефективні режими роботи, що широко застосовуються у електроприводах при статичних моментах навантаження [1]. Підвищити ефективність роботи таких електроприводів можливо за рахунок створення замкнутих систем із оптимальними за статистичними показниками регуляторами. Крім того, для значного класу електроприводів, що використовуються у технологічних процесах з частими пусками під навантаженням, наприклад, для електроприводів насосів, запірної арматури, важливим питанням є оптимізація енергоспоживання та технологічних параметрів у пускових режимах.

**Вирішувані завдання.** Для замкнутих систем «перетворювач напруги – асинхронний двигун», «перетворювач частоти – асинхронний двигун» мінімальним втратам у динамічних режимах з навантаженнями, що інтенсивно змінюються за випадковими законами, відповідає критерій мінімуму середньоквадратичної похибки регулювання оптимального параметру, який слід стабілізувати. У випадку регульованого за напругою електропривода (параметричне регулювання) в режимі оптимізації енергоспоживання таким параметром є оптимальне ковзання [2], у випадку частотно регульованого електропривода – оптимальне потокозчеплення [3], що визначається співвідношенням двох сигналів керування – напруги та частоти.

**Суть досліджень.** Для стаціонарного випадкового процесу зміни навантаження  $M(t)$  середньоквадратична похибка дорівнюватиме кореню з дисперсії випадкової похибки системи

$$\varepsilon_{rms} = \sqrt{D_\varepsilon}, \quad (1)$$

яка може бути знайдена, виходячи із закону перетворення випадкових сигналів динамічною системою

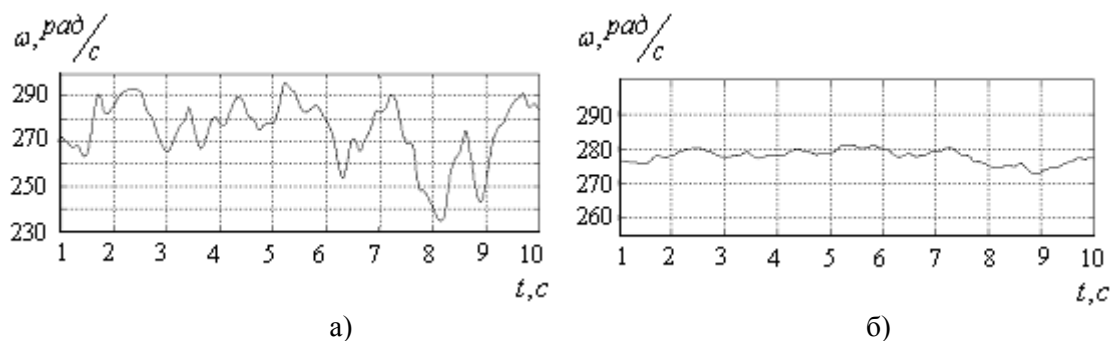
$$D_\varepsilon = \int_0^\infty \left| \frac{W_M(j\omega)}{1 + W_{reg}(j\omega) \cdot W_U(j\omega)} \right|^2 S_M(\omega) d\omega, \quad (2)$$

де:  $W_U(j\omega)$ ,  $W_M(j\omega)$  – частотні передатні функції лінеаризованої моделі електродвигуна за керуванням та збуренням відповідно;  $W_{reg}(j\omega)$  – частотна передатна функція регулятора,  $S_M(\omega)$  – спектральна густина навантаження. Отже, для того, щоб мінімізувати  $\varepsilon_{rms}$ , необхідно, щоб виконувалась умова  $D_\varepsilon \rightarrow \min$ .

Забезпечення номінальних максимального  $M_{max}$  та пускового  $M_n$  моментів при цьому забезпечується системою плавного пуску з поступовим наростанням сигналу завдання – напруги при параметричному регулюванні та частоти і напруги при частотному скалярному

керуванні. Тому у пусковому режимі статистично оптимальний регулятор реалізує слідкуючий алгоритм функціонування, на відміну від робочого режиму, коли реалізується алгоритм стабілізації оптимального параметру. При цьому, крім динамічної випадкової похибки, обумовленої дією стохастичних моментів навантаження, вноситься динамічна усталена похибка слідкування  $\varepsilon_{tr}$  за зростаючим із сталою швидкістю сигналом завдання. Отже, у пусковому режимі додається ще один критерій оптимізації  $\varepsilon_{tr} \rightarrow \min$ , мінімізація якого досягається оптимізацією параметрів типових ПІ-регуляторів. Таким чином, у пусковому режимі доцільно використання як структурної оптимізації статистично оптимального регулятора для компенсації дії стохастичних моментів навантаження, так і параметричної оптимізації для компенсації динамічної усталеної похибки слідкування.

Дослідження режимів роботи асинхронного електроприводу з перетворювачем напруги у режимі статистичної оптимізації проводились за допомогою повної математичної моделі асинхронного двигуна [4]. На рис. 1 подані часові діаграми зміни швидкості електроприводу прямої дробарки зерна, отримані у випадку ПІ регулятора (рис.1,а) та статистично оптимального регулятора (рис. 1,б). Аналогічні діаграми були отримані для електромагнітного моменту та струму. Дані часові діаграми свідчать про суттєву фільтрацію оптимальним регулятором високочастотних складових збурення, а статистична обробка цих діаграм показує відповідне зниження дисперсій вихідних параметрів за рахунок застосування статистично оптимального регулятора: дисперсії швидкості – з 76 (рад/с)<sup>2</sup> до 16 (рад/с)<sup>2</sup>, дисперсії електромагнітного моменту – з 25 (Нм)<sup>2</sup> до 4,3 (Нм)<sup>2</sup>.



а) б)  
Рисунок 1 – Швидкісні діаграми електроприводу  
«тиристорний перетворювач – асинхронний двигун»

**Висновки.** Визначені оптимальні структури регуляторів замкнених асинхронних електроприводів в залежності від виду випадкових збурень. Моделювання роботи електроприводу прямої дробарки зерна при застосуванні статистично оптимального регулятора показало збільшення циклових показників енергоефективності електроприводу порівняно із електроприводами без регулятора, таких як цикловий ККД (на 8-12%) та коефіцієнт потужності (на 10-14%), та зменшення дисперсії вихідних параметрів електроприводу – електромагнітного моменту, струму, швидкості, що свідчить про суттєву фільтрацію оптимальним регулятором високочастотних складових збурення.

### Література

1. Бібік О. В., Попович О. М., Шевчук С. П. Енергоефективні режими електромеханічної системи насосної установки багатоповерхового будинку. Технічна електродинаміка. 2016. № 5. С. 38—45.
2. Шуруб Ю. В. Статистична оптимізація регульованих за напругою асинхронних електроприводів. Технічна електродинаміка. 2014. № 5. С. 116—118.
3. Шуруб Ю. В., Дудник А. О., Лавінський Д. С. Оптимізація регуляторів частотно керованих асинхронних електроприводів при стохастичних навантаженнях. Технічна електродинаміка. 2016. № 4. С. 53—55.
4. Попович О. М., Головань І. В. Уточнення аналізу режимів роботи асинхронних двигунів у складі електромеханотронних систем еквівалентуванням їх польових моделей коловими. Технічна електродинаміка. 2014. № 5. С. 113—115.

Фурман И. А., доктор технических наук, профессор,  
Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенко  
Аллашев А. Ю.,  
Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенко

## НЕТРАДИЦИОННЫЙ ПОДХОД К ПРОГРАММИРОВАНИЮ МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ ЛОГИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ

**Аннотация.** Рассматривается новый подход к разработке программ логического управления с помощью табличного проблемно-ориентированного технологического языка. Предложена концепция технологического визуального программирования, позволяющая привлечь непосредственно инженеров-технологов к созданию программ логического управления.

**Ключевые слова:** проблемно-ориентированный язык, табличная циклограмма, автоматизация программирования, программируемый логический контроллер.

Постановка проблемы. В последние годы наблюдается повышенный интерес со стороны различных специалистов к языкам и технологиям программирования систем логического управления промышленными объектами. С ростом уровня автоматизации промышленных объектов становятся более высокими требования к качеству программного обеспечения систем логического управления. В качестве основного элемента управления в современных системах используется программируемый логический контроллер (ПЛК), который является специализированным микропроцессорным устройством, работающим в промышленных условиях в режиме реального времени. Сегодня на рынке присутствует большое количество моделей ПЛК от различных мировых производителей. Для стандартизации большого количества вариантов языков в 1993 году Международная электротехническая комиссия выпустила стандарт МЭК 61131-3, который описывает языковые средства программирования ПЛК. В стандарт вошли три графических и два текстовых языка [1]: SFC (Sequential Function Chart) – графический язык, позволяющий описать алгоритм управления в виде набора пар шаг и переход; LD (Ladder Diagram) – язык лестничных диаграмм, графический язык построенный на принципах релейно-контактных схем; FBD (Functional Block Diagram) – графический язык функциональных блоков; ST (Structured Text) – текстовый язык высокого уровня, похожий на язык Pascal; IL (Instruction List) – текстовый язык низкого уровня, представляющий собой упрощенный ассемблер для задач логического управления. Несмотря на то, что при разработке стандарта МЭК 61131-3 одной из задач было предоставить разработчикам унифицированные языки программирования, которые были бы просты, наглядны и доступны широкому кругу инженеров, не обладающими специальными знаниями в области информатики, на данный момент разработкой управляющих программ занимаются профессиональные программисты. При реализации алгоритма логического управления программист создает в специализированной среде программный код на языке стандарта. Программный код остается «закрытым» для понимания и верификации инженеру-технологу, который является наиболее компетентным экспертом в предметной области автоматизируемого технологического процесса, но не обладает знаниями в области языков программирования.

Целью данного исследования является повышение качества программного обеспечения систем логического управления путем разработки проблемно-ориентированного технологического языка описания модели логического управления, методов и средств информационной технологии его применения для различных программно-аппаратных платформ. Для достижения указанной цели необходимо решить следующие задачи: проанализировать визуальные средства формализации алгоритмов управления технологическим оборудованием, которые используются непосредственно инженерами-

технологами на производстве; разработать проблемно-ориентированный язык программирования средств логического управления и технологию его применения.

Суть исследования. С момента появления микроэлектронных средств управления и языков их программирования многие специалисты указывали на то, что для привлечения к разработке систем управления инженеров-технологов необходимо использовать для формализации алгоритма управления наглядные, интуитивно понятные проблемно-ориентированные формы описания алгоритма логического управления [2]. В конце 80-х годов прошлого века в рамках проекта «Буран» велась разработка графического языка программирования ДРАКОН (Дружественный Русский Алгоритмический язык, Который Обеспечит Наглядность). Основной задачей разработчиков языка было создание единого универсального языка программирования, который своей наглядностью и доступностью должен был сменить специализированные языки проекта. ДРАКОН определяли как общедоступный визуальный язык, предназначенный для описания структуры человеческой деятельности, для систематизации, структуризации, наглядного представления и формализации императивных знаний, а также для проектирования, программирования, моделирования и обучения. Главным требованием к визуальному языку ДРАКОН являлось наглядность для человеческого зрительного восприятия. В 90-х годах в харьковском институте ВНИИТЭлектромаш были разработаны и внедрены в производство на многих предприятиях бывшего СССР логические управляющие автоматы параллельного действия (ЛУАПД), при использовании которых для формализации алгоритмов управления предлагалось использовать табличные технологические циклограммы. Использование данного языка циклограмм позволяло уменьшить число ошибок при проектировании, так как составление технического задания в табличном виде было простым, доступным, наглядным для чтения, записи, контроля и выявления ошибок. С развитием информационных технологий и микропроцессорной техники, применением прикладных пакетов программирования и широкого использования персональных компьютеров, было предложено технологическое визуальное программирование (ТВП) – новый нетрадиционный подход к разработке программных систем логического управления, основанный на формализации логики управления в виде циклограммы и автоматической генерации по ней программного кода на стандартном языке программирования для выбранной аппаратной платформы. Реализация технологического визуального программирования на практике достигается путем: 1) создания наглядного предметно-ориентированного табличного языка формализации алгоритма логического управления (например, разные вариации табличного языка технологических циклограмм); 2) разработки специализированной среды программирования для проблемно-ориентированного языка с мощными визуальными возможностями (табличный редактор циклограмм и т.д.); 3) разработки анализатора программы на созданном проблемно-ориентированном языке; 4) разработки правил трансляции (генерации программного кода) табличной циклограммы в программный код на стандартном языке выбранной аппаратной платформы.

**Выводы.** Табличный язык циклограмм позволяет на высоком уровне абстракции описывать технологическими терминами модель логического управления, на основе которой специализированный транслятор автоматически генерирует программный код на стандартном языке для выбранной аппаратной базы. Такой нетрадиционный подход позволяет инженеру-технологу, не имеющему навыков универсального программирования, непосредственно создавать и модифицировать программы логического управления.

#### Литература

1. Зюбин В. Е. Программирование ПЛК: языки МЭК 61131-3 и возможные альтернативы. Промышленные АСУ и контроллеры. 2005. № 11. С. 31—35.
2. Аллашев О. Ю., Фурман І. О. Переваги табличної мови циклограм для програмування засобів логічного керування. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. 2014. № 154. С. 84—85.

Мазуренко Л. І., доктор технічних наук, професор,  
Інститут електродинаміки  
Джура О. В., кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,  
Інститут електродинаміки  
Білик О. А.,  
Інститут електродинаміки  
Шихненко М. О., аспірант,  
Інститут електродинаміки

## СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ВЕНТИЛЬНО-ІНДУКТОРНИМ ГЕНЕРАТОРОМ

**Анотація.** Запропоновано сфери застосування вентильно-індукторних генераторів. Представлено підхід до стабілізації вихідної напруги вентильно-індукторного генератора.

**Ключові слова:** вентильно-індукторний генератор, стабілізація напруги, математичне моделювання.

**Вступ.** Вентильно-індукторна машина – це електрична машина, в якій перетворення енергії здійснюється за рахунок зміни індуктивностей обмоток, розташованих на явно виражених зубцях статора, при переміщенні відносно них зубчатого магнітопроводу ротора. Живлення вентильно-індукторного двигуна (ВІД) здійснюється від електронного перетворювача (комутатора), який по черзі перемикає обмотки двигуна у відповідності з переміщенням ротора. Для керування електронним перетворювачем ВІД використовується мікропроцесор.

Вентильний індукторний двигун представляє собою спеціальну машину, якій притаманні певні переваги в порівнянні з класичними електричними машинами. Серед них найбільш суттєвими є: проста конструкція, відсутність постійних магнітів та обмоток на роторі, висока енергоефективність, надійність, та можливість роботи в широкому діапазоні частот обертання.

Вентильно-індукторний генератор (ВІГ) володіє всіма вищеперерахованими перевагами у порівнянні з класичними генераторами і, як наслідок, він може знайти своє використання в різноманітних застосуваннях. Наприклад, його можна використовувати в якості стартер-генератора для електричних транспортних засобів, чи в якості генератора автономних енергосистем. Завдяки високим експлуатаційним властивостям та енергоефективності в широкому діапазоні частот обертання, ВІГ можна розглядати в якості вітрогенератора.

Метою роботи є розробка системи керування вентильно-індукторного генератора для забезпечення його стійкої роботи. Головною задачею системи керування ВІГ є стабілізація його вихідної напруги в залежності від зміни навантаження.

**Суть дослідження.** Регулювання вихідної напруги вентильно-індукторного генератора можливо здійснювати шляхом зміни кутів комутації або рівня фазного струму [1].

В роботі [2], повідомлялось що регулювання напруги ВІГ шляхом зміни кутів комутації на практиці являється неефективним оскільки вихідний струм дуже чутливий до малих змін кутів ввімкнення та вимкнення. Було представлено систему керування, котра здійснює керування вихідною потужністю вентильно-індукторного генератора регулюванням рівня фазного струму при фіксованих кутах комутації за допомогою ПІ-контролера. Ця система керування забезпечує стабільну вихідну напругу ВІГ номінальною потужністю 30 кВт при зміні навантаження тільки в діапазоні від 20 до 30 кВт.

Однак робота вентильно-індукторного генератора при фіксованих кутах комутації нестабільна і вихідна напруга може зростати або спадати експоненційно, в залежності від навантаження [3].

Типова система керування вентильно-індукторним генератором зображена на рис. 1. Вихідна напруга  $V_{DC}$  по зворотному зв'язку подається на вхід і порівнюється із заданим значенням  $V_{DC}^*$ . Контролер регулює керуючі змінні, такі як кути ввімкнення та вимкнення ( $\theta_{on}$  та  $\theta_{off}$ ) і задане значення максимального фазного струму  $I_{HI}$  в залежності від заданої напруги та

частоти обертання  $\omega$ . Блок SRG, який являє собою напівпровідниковий перетворювач і машину, генерує струм  $I_o$ . Різниця  $I_o$  та струму навантаження  $I_L$  представляє струм зарядки конденсатора перетворювача  $C$ , заряд якого визначається напругою  $V_{DC}$ .

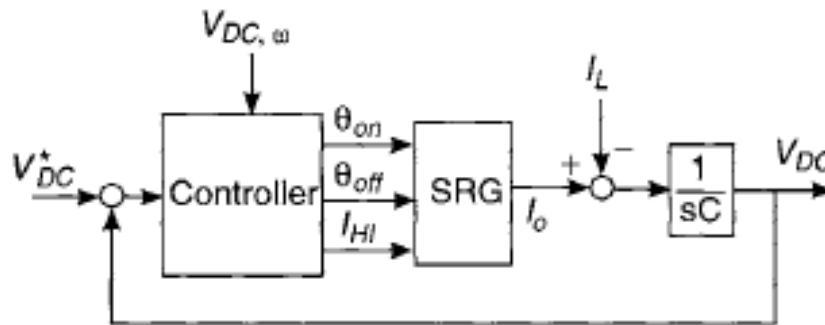


Рисунок 1 – Система керування генератором

Запропоновано схему керування в якій вимкнення фази відбувається при досягненні фазним струмом заданого значення, а кути комутації залишаються незмінними. Регулювання відбувається за встановленою залежністю між напругою, струмом фази та опором навантаженням. Ця схема відносно проста, але для її реалізації необхідно здійснити серію розрахунків за допомогою моделювання або провести експериментальні дослідження щоб отримати залежності між пороговим значенням фазного струму, навантаженням і вихідною напругою. Дані залежності у вигляді двовірного масиву закладаються у пам'ять контролера, який регулює порогове значення струму в залежності від заданої напруги та навантаження. Конденсатор на виході перетворювача слугує для згладжування пульсацій вихідної напруги.

На основі математичного моделювання проведено дослідження системи керування вентильно-індукторним генератором. Для вирішення поставлених завдань проведені теоретичні дослідження з використанням польового підходу і методу скінченних елементів, теорії лінійних електричних кіл, моделювання на основі диференціальних рівнянь і структурних схем.

**Висновки.** Запропонована система керування ВІГ відрізняється від відомих тим, що дозволяє забезпечити стабільну вихідну напругу на будь-якому заданому рівні у всьому діапазоні навантажень. Крім того, при регулюванні напруги з фіксованими кутами комутації для забезпечення стійкої роботи вентильно-індукторного генератора достатньо використання простого датчика положення ротора замість датчика кута повороту з високою роздільною здатністю.

При необхідності застосування ВІГ в системах, де частота обертання приводного двигуна змінюється в широкому діапазоні, необхідно реалізувати стабілізацію вихідної напруги також в залежності від частоти обертання ротора.

### Література

1. Miller T.J.E., Electronic control of switched reluctance machines. Newnes Publ. 2001.
2. Ferreira C. A., Jones S. R. and others. Detailed design of a 30-kW switched reluctance starter/generator system for a gas turbine engine application. IEEE Transactions on Industry Applications. Vol. 31. No 3. 1995. 553-561.
3. Radun A. V. Generating with the switched reluctance motor. Proceedings of IEEE Applied Power Electronics Conference. 1994. 41-46.



Меланченко А. Г., кандидат технических наук, ГП «КБ «Южное» имени М. К. Янгеля  
Ельникова Л. О., ГП «КБ «Южное» имени М. К. Янгеля  
Синча А. А., ГП «КБ «Южное» имени М. К. Янгеля

## ЦЕЛЕВОЕ УПРАВЛЕНИЕ СИСТЕМОЙ МОБИЛЬНЫХ АВТОМАТОВ В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕННОЙ ДАЛЬНОСТИ СВЯЗИ

**Аннотация.** Рассматривается задача наведения группы мобильных автоматов на группу различных целей, произвольно распределенных на некотором участке местности, за минимальное время; предполагается, что количество целей равно количеству мобильных автоматов. Каждый мобильный автомат оборудован подсистемой связи с ограниченной дальностью действия и располагает априорной информацией о местоположении каждой цели. Для целевого управления системой мобильных автоматов предлагается децентрализованный алгоритм назначения целей каждому мобильному автомату.

**Ключевые слова:** мобильный автомат; целевое управление; подсистема связи.

**Введение.** Рассматривается система, состоящая из группы мобильных автоматов, каждый из которых оборудован приемопередатчиком с ограниченным радиусом действия. Автоматы – агенты системы, произвольно распределенные на участке поверхности; на том же участке распределены цели. Задача состоит в распределении целей между агентами таким образом, чтобы агенты достигли своих целей за суммарное минимальное время. Поскольку априорного распределения пар «агент-цель» не существует, эта задача должна решаться с учетом наличия/отсутствия связи между агентами и их движения. Данную задачу будем называть задачей целевого управления. Рассматриваемая задача в централизованной постановке известна в литературе по комбинаторной оптимизации [1], как задача о максимальном покрытии.

**Основной материал.** Формализуем постановку задачи. Необходимо распределить  $k$  целей между  $n$  автоматами, входящими в систему мобильных автоматов (СМА) ( $n = k$ ). Цели и мобильные автоматы случайным образом расположены на участке поверхности  $\varepsilon(n) = [0, l(n)]^2 \subset R^2$ , где  $l(n) > 0$ . В процессе такого распределения для каждой цели  $q_j \in Q$  должен быть определен единственный мобильный автомат  $i \in I$ , для которого местоположение  $p^{[i]}(t) = q_j$  начиная с некоторого момента времени  $t \geq T \geq 0$ . Если решение задачи начинается в момент времени  $t_0 = 0$ , то  $T$  – время завершения ее решения. При этом должны учитываться изменения топологии информационной сети во времени, обусловленные особенностями рельефа местности, ограниченной дальностью связи и т.д.

Для решения поставленной задачи предлагается децентрализованный алгоритм целевого управления.

Будем полагать, что каждый агент СМА обладает полной априорной информацией о местоположении всех целей, и что информация о местоположении целей хранится в памяти каждого агента в виде массива, а не в виде неупорядоченного множества. Будем также полагать, что каждый автомат должен достичь только одной цели. Приемопередатчики мобильных автоматов работают в ограниченном радиусе  $r_{comm}$ , обмен данными осуществляется в соответствии с расписанием. Все сообщения в системе мобильных автоматов передаются и принимаются одновременно.

Согласно данному алгоритму каждым мобильным автоматом  $i, i \in I$  изначально вычисляется оптимальный по быстродействию маршрут (решается задача коммивояжера), соединяющий  $n$  целей, в результате чего множество целей превращается в упорядоченную последовательность. Далее каждый мобильный автомат  $i$  определяет ближайшую к нему цель, а также следующую доступную цель на маршруте, и цель, предшествующую ближайшей.

Мобильные автоматы перемещаются по маршруту в поисках следующей доступной цели, обмениваясь соответствующей информацией в ходе сеансов связи в соответствии с расписанием и разрешая возникающие конфликты – случаи, когда одна цель назначается одновременно двум мобильным автоматам. Если агент  $i$  находится к цели ближе чем агент  $j$  и их зоны радиовидимости пересекаются, то после сеанса связи движение к данной цели продолжит только тот агент, расстояние которого до цели меньше.

Было проведено моделирование работы алгоритма для случая, когда количество агентов и целей равнялось 20. Также была рассмотрена масштабируемость алгоритма. В этом случае площадь участка определялась как  $4r_{comm}^2 \times n$ , количество сеансов моделирования равнялось 30. Результаты моделирования показали, что предложенный алгоритм целевого управления СМА алгоритм хорошо масштабируется.

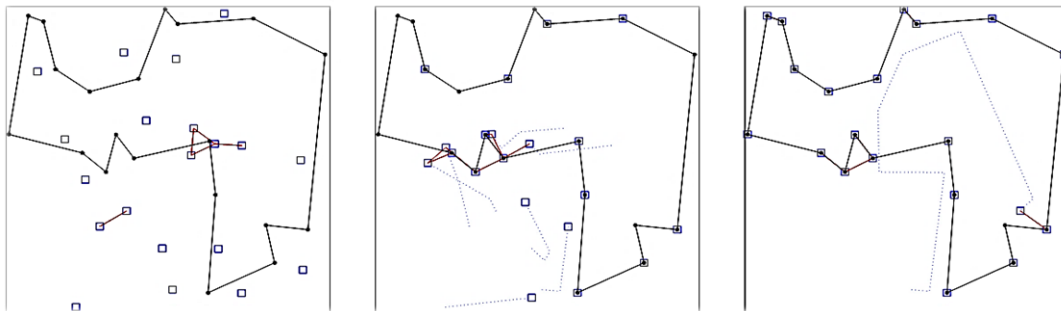


Рисунок 1 – Моделирование решения задачи для системы из 20 мобильных автоматов.

**Вывод.** Предложен децентрализованный алгоритм целевого управления, обеспечивающий достижения группой мобильных автоматов всех заданных целей за наименьшее возможное время и учитывающий изменения топологии сети. Проведена оценка алгоритма по изменению этого времени при увеличении количества автоматов и целей. Полученные результаты показали, что предложенный алгоритм может быть эффективно использован для управления системой мобильных автоматов различного назначения.

### Литература

1. Burkard R. Selected topics on assignment problems. Discrete Applied Mathematics. Vol. 123. 2002. 257-302.

Литвин В. І., КП «Група впровадження проекту з енергозбереження в адміністративних і громадських будівлях м. Києва»  
Шеліманова О. В., кандидат технічних наук, доцент, Національний університет біоресурсів і природокористування України

## РОЗРОБКА МОДЕЛІ СПОЖИВАННЯ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ БУДІВЛЯМИ

Питання аналізу ефективності споживання теплової енергії будівлями набуло особливого значення внаслідок широкого застосування систем автоматичного регулювання теплоспоживання для окремої будівлі чи приміщення.

Метою даного дослідження була розробка методики побудови моделі теплоспоживання будівель, основаної на статистичних даних, що могла б враховувати значну кількість впливових параметрів та була б здатна до «самоналаштування» по мірі надходження нової інформації.

Для побудови моделі теплоспоживання для різних часових інтервалів була вибрана нечітка нейронна мережа. Серед основних її переваг слід відзначити:

- швидкість навчання за рахунок комбінації лінійних та нелінійних елементів;
- можливість побудови нелінійних моделей;
- можливість врахування значної кількості вхідних змінних;
- можливість адаптації по мірі надходження нових даних.

Як видно з рисунку, розрахункові величини добре корелюють з результатами фактичного тепло споживання.

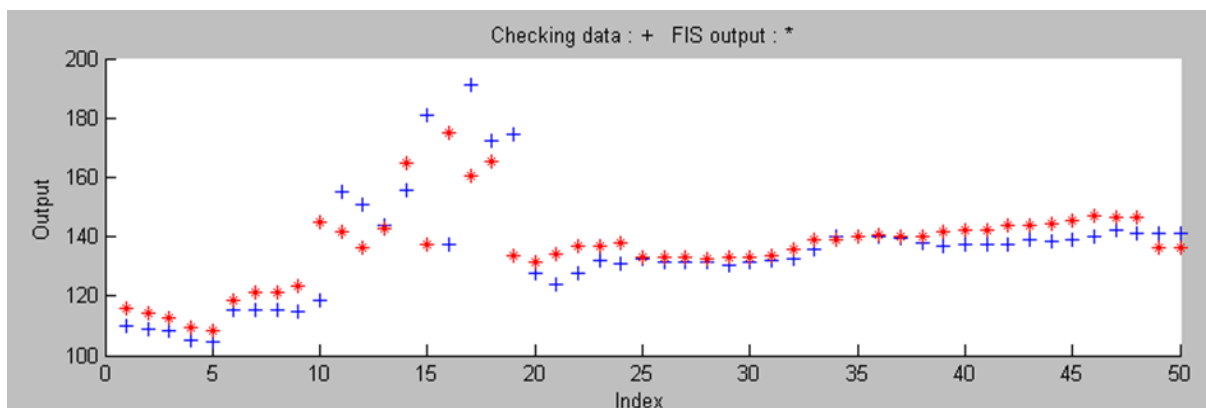


Рисунок 1 – Порівняння фактичного теплоспоживання з результатами моделювання

**Висновки.** Запропоновані математичні модель, що дозволяє швидко та з мінімальним залученням висококваліфікованих працівників проводити аналіз та робити висновки про ефективність споживання теплоти для часових інтервалів від 1 години до 1 місяця.

### Література

1. Литвин В. І., Гирич В. Ю. Моніторинг режимів теплоспоживання об'єктів бюджетної сфери. Будівництво України. 2009. №6. С. 30—33.
2. Литвин В. І., Шеліманова О. В. Система допомоги в прийнятті рішень для енергоменеджера щодо процесів споживання теплової енергії будівлями. Науковий вісник НУБіП України. 2015. №. 209/2. С. 200—208.

## **ФОТОЕЛЕКТРИЧНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ В СИСТЕМАХ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СПОЖИВАЧІВ**

В останні роки в Україні широко поширюється будівництво індивідуальних житлових будинків в приміських зонах, де відсутнє централізоване тепло- та газопостачання. В цих умовах перспективним є використання систем енергозабезпечення на основі поновлюваних джерел енергії. Використання таких систем забезпечить значну економію як природного газу, так і інших традиційних джерел енергії.

Враховуючи широку різноманітність обладнання установок поновлюваної енергетики (вітрогенератори, фотоелектричні батареї, сонячні колектори, акумулятори тощо), можна розробити безліч енергетичних систем [1, 2] різноманітних за комбінацією джерел. При цьому, основними показниками, які необхідно врахувати для розрахунку ефективності роботи сонячних систем є кількість годин сонячного сьйва, яка залежить від пори року та географічного розташування об'єкта, середньомісячне добове надходження сонячної радіації на горизонтальну поверхню, середньомісячна хмарність та температура.

Разом з тим, не менш важливим у процесі запровадження сонячної системи на місцевому рівні є економічний чинник. Для його оцінки, використаємо показник терміну (строк) окупності витрат (капітальних вкладень) – рівень економічної ефективності, який характеризує період, протягом якого понесені на реалізацію заходу витрати повністю повертаються за рахунок одержуваного ефекту.

### **Висновки**

1. Визначено, що ефективність використання фотоелектричних перетворювачів суттєво залежить від кліматичних умов та потужності споживача. Так, для покриття електричного навантаження потужністю 1000 Вт необхідна кількість фотоелектричних перетворювачів відповідно для літнього, осінньо-весіннього та зимового періодів становитиме 7, 5 та 6 шт.

2. Розраховано період окупності сонячної системи, який для побутових споживачів (населення) склав у межах 6–8 років залежно від його тарифного плану та умов договору купівлі-продажу електричної енергії.

### **Література**

1. Денисова А. Е., Мазуренко А. С. Комбинированные системы теплоснабжения на базе солнечных установок. Экотехнологии и ресурсосбережение. 2002. № 6. С. 14—19.

2. Накорчевский А. И. Система теплоснабжения теплоавтономного дома. Промышленная теплотехника. 2009. № 1. С. 67—73.

## ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ СУШІННЯ МОЛОКА

**Анотація.** Розроблено імітаційну модель технологічного процесу сушіння молочних продуктів з урахуванням основних контурів керування об'єктом.

**Ключові слова:** сушіння молока, моделювання.

**Постановка проблеми.** На сьогоднішній день при виробництві сухого молока використовують розпилювальні сушильні установки. Молоко, попередньо пастеризоване і згущене в вакуумних апаратах, направляють в сушарки. Аналіз роботи сушильної установки показав, що забезпечити статичне навантаження сушильної камери досить проблематично, так як сировина, що надходить в сушильну неоднорідна за кількістю і якістю (різної вологості і температури), а отже, в системі періодично виникають перехідні процеси.

**Перерахування вирішуваних завдань.** Аналіз технологічної системи як об'єкта управління дозволив сформувати систему критеріїв, які комплексно характеризують ефективність технологічного процесу сушіння молока і молочних продуктів. На сьогоднішній день в промисловості існують прилади для вимірювання вологості в реальному режимі часу. Однак дані прилади мають невисоку надійність, і включення їх в контур регулювання може призвести до непередбачуваних наслідків, тому для управління процесом використовують непрямий параметр - температуру повітря на виході з сушильної камери.

**Викладення суті дослідження.** Для розробки динамічної моделі сушильної камери представимо рівняння теплового балансу у вигляді:

$$\frac{dQ(t)}{dt} = Q_{\text{вх}}(t) - Q_{\text{вих}}(t - \tau), \quad (1)$$

де:  $\frac{dQ(t)}{dt} = V\rho c \frac{dT_3(t)}{dt}$  – зміна кількості тепла в об'ємі сушильної башти.

Розкриваючи праву частину рівняння, отримаємо диференціальне рівняння першого порядку:

$$V\rho c \frac{dT_3(t)}{dt} + G_k c_3 T_3(t) = L(I_1 - I_2) + G_H c_2 T_2(t - \tau), \quad (2)$$

Позначивши  $V\rho c$  через  $k_1$ ,  $G_k c_3 - k_2$ ,  $G_H c_2 - k_3$ ,  $L(I_1 - I_2) - k_0$ , запишемо рівняння (2) у вигляді

$$k_1 \frac{dT_3(t)}{dt} + k_2 T_3(t) = k_0 + k_3 T_2(t - \tau). \quad (3)$$

Рівняння (3) являє собою динамічну модель сушильної камери. Приведемо рівняння (3) до стандартного вигляду, для чого скористаємося наступними позначеннями:

$$T = k_1 / k_2; K_{об} = k_3 / k_2; \quad (4)$$

$$y(t) = T_3(t) - k_0 / k_2; u(t - \tau) = T_2(t - \tau). \quad (5)$$

З урахуванням подальших перетворень (4) і (5) рівняння об'єкта (3) має вигляд:

$$T \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = K_{об} u(t - \tau). \quad (6)$$

З використанням вищенаведеної математичної моделі, було розраховано основні технологічні змінні об'єкта автоматизації, розпилювальної сушильної установки. Встановлений взаємозв'язок вхідних і вихідних параметрів об'єкта, описаний в імітаційній моделі, дозволяє налаштувати типовий регулятор для управління процесом сушки молока.

### Література

1. Спотару Ю. Ю., Иванов В. Л. Разработка системы контроля и управления энергосбережением при производстве сухих молочных продуктов. Научный журнал НИУ ИТМО. 2014.

2. Шиянова Н. И., Каяшев А. И., Хардина А. Е. Математическая модель технологических процессов непрерывных производств. "Автоматизация в промышленности. С. 134—139.

## Секція 4 «Управління аерокосмічними, морськими та іншими рухомими об'єктами»

УДК 519.218.82

**Боряк Б. Р.**, аспірант,  
Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка  
**Сільвестров А. М.**, доктор технічних наук, професор,  
Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка  
**Луцьо В. В.**, аспірант,  
Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

### ПРОГНОЗУВАННЯ ТРАЕКТОРІЇ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ В УМОВАХ ГЕТЕРОСКЕДАСТИЧНИХ ЗБУРЕНЬ

**Анотація.** У дослідженні було розглянуто можливість використання адаптивного експоненціального фільтра на основі моделі Брауна для визначення прогнозованих значень траєкторії руху літального апарату. Даний фільтруючий алгоритм обробки інформації інтегрується у системи нерухомих радіолокаційних систем, як допоміжний та уточнюючий елемент.

**Ключові слова:** експоненціальне згладжування, гетероскедастичність, літальний апарат (ЛА), коефіцієнт згладжування.

Визначення координат літального апарату (ЛА) для відстеження його траєкторії руху є актуальною проблемою у час, коли повітряний простір заповнюється великою кількістю об'єктів. Серед складностей, що зустрічаються у процесі вирішення даної задачі, є наявність пасивних і активних завад, що носять гетероскедастичний характер. Задачею дослідження є аналіз можливості інтеграції адаптивного фільтруючого алгоритму на основі експоненціального фільтра Брауна, для визначення і прогнозування значення траєкторії руху ЛА. Об'єктом, у який можна інтегрувати адаптивний фільтруючий алгоритм обробки інформації, було обрано систему визначення координатних переміщень ЛА. Серед параметрів, що визначають координати цілі виділяють похилу дальність  $D$ , азимут  $\alpha$ , та кут місця  $\beta$ . Дані координати у процесі визначення траєкторії руху ЛА можуть бути розглянуті, як функції часу  $D(t)$ ,  $\alpha(t)$ ,  $\beta(t)$ . Будь-яка із цих функцій можна подати у вигляді  $x(k)$ , де  $x$  – значення сигналу, що характеризує одну із координат, а  $k$  – номер дискрети часу.

Модель експоненціального згладжування Брауна [1] передбачає, що корисний сигнал складається із двох складових. Перша – добуток нинішнього значення сигналу з ваговим коефіцієнтом  $\alpha$ . Друга – добуток  $(1 - \alpha)$  і згладженого значення сигналу у  $(k-1)$  момент:

$$\hat{x}(k) = \alpha \cdot x(k) + (1 - \alpha) \cdot \hat{x}(k - 1), \quad (1)$$

У запропонованій моделі адаптивного фільтруючого алгоритму для кращого згладжування використано подвійне експоненціальне згладжування (1). Подвійне згладжування дає можливість отримати лінійний прогноз на  $m$  кроків:

$$\hat{\hat{x}}(k + m) = \hat{\hat{x}}(k) + m \cdot \Delta t \cdot \hat{\dot{x}}(k), \quad (2)$$

де:  $\hat{\hat{x}}(k + m)$  – прогнозоване на  $m$  кроків згладжене значення сигналу;  $\Delta t$  – час між вимірами;  $\hat{\dot{x}}(k)$  – похідна двічі згладженого сигналу.

Серед недоліків експоненціального згладжування варто визначити наявність похибки слідування. У запропонованому алгоритмі, компенсація цієї похибки забезпечується підключенням фільтрів за принципом ноніусного нарощування структури [2]. Так як завади, що надходять на вхід системи, мають гетероскедастичний характер, алгоритм обробки інформації повинен адаптуватись до зміни амплітуди завад. Процес адаптації реалізований наступним чином. Сигнал разом із завадами надходить паралельно на вхід двох фільтруючих контурів із різними коефіцієнтами згладжування  $\alpha$ . Після отримання значень  $\hat{\hat{x}}(k + m)$  із кожного контуру,

вони затримуються на  $t$  кроків. Визначаються похибки прогнозу, шляхом віднімання значення  $\hat{x}(k+m)$  від вхідного сигналу  $x(k)$  на кожному контурі. Накопичуючи інформацію про те, на якому із контурів величина похибки більша, можна зробити висновок, який коефіцієнт фільтрації забезпечує кращу якість фільтрації. Після чого відбувається зміна обох коефіцієнтів, збільшуючи або зменшуючи їх, в залежності від того який із контурів фільтрації показав меншу похибку прогнозу. Змодельовано процес фільтрації і визначення прогнозованого значення однієї із координат у середовищі Matlab. Результати наведені на рисунку.

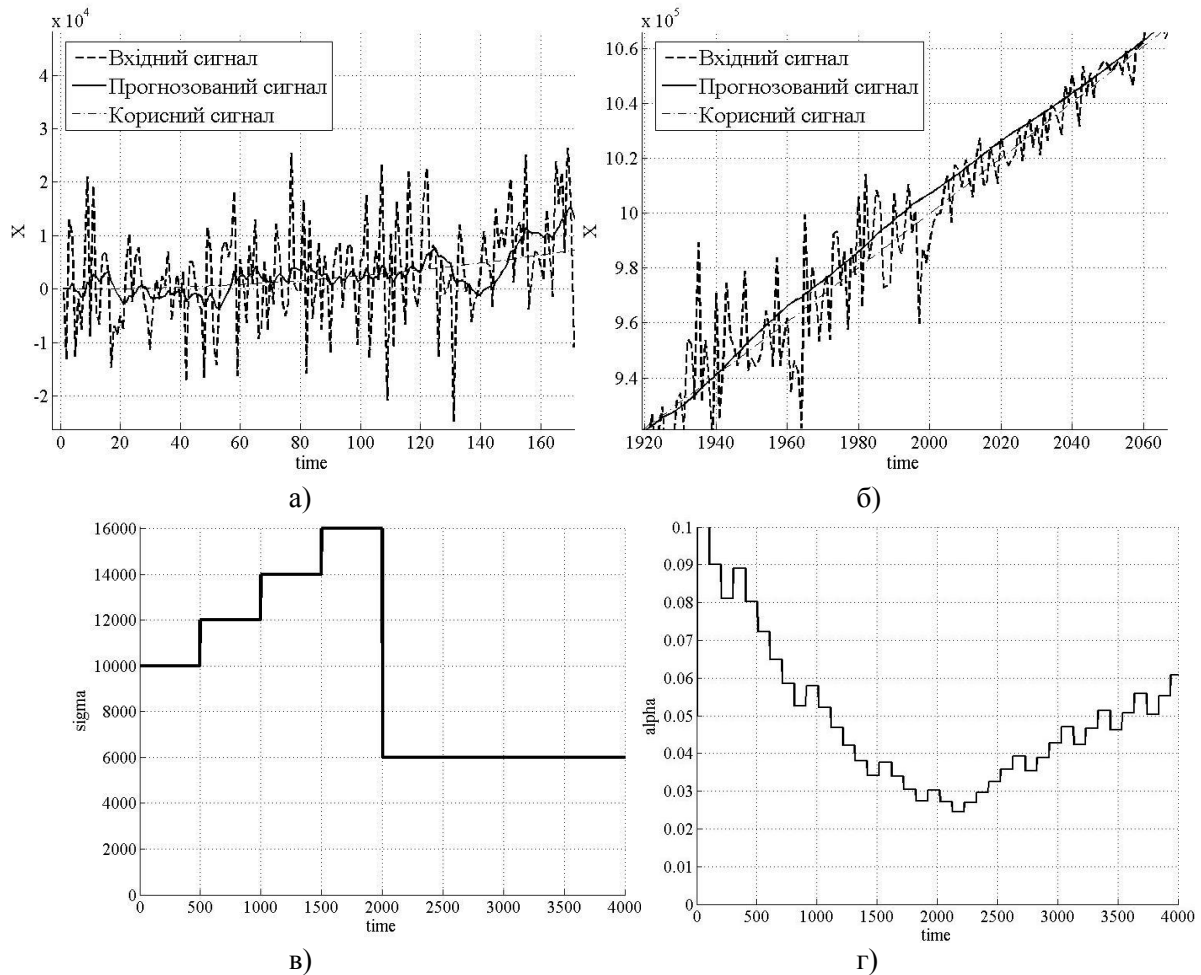


Рисунок 1 – Графіки математичного моделювання: а) значення вхідного, прогнозованого і корисного сигналу ( $k=0\dots170$ ); б) значення вхідного, прогнозованого і корисного сигналу ( $k=1920\dots2065$ ); в) характеристика зміни амплітуди шумів  $\sigma$ ; г) графік зміни коефіцієнта згладжування  $\alpha$  в процесі адаптації.

Даний алгоритм обробки інформації може бути використаний для визначення прогнозованих координат літальних апаратів. Серед переваг варто відзначити гнучкість алгоритму, що забезпечується можливістю змінювати параметри адаптації, а також наявність самої адаптації, що дозволяє фільтрувати значення сигналу в умовах гетероскедастичних завад.

### Література

1. Duke University. Moving average and exponential smoothing models. Duke University. 2011. <http://people.duke.edu/~rnau/411avg.htm>.
2. Сільвестров А. М., Боряк Б. Р., Луцьо В. В. Згладжування та прогнозування сигналів за допомогою ноніусного включення експоненціальних фільтрів моделі Брауна. Матеріали Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції «Електронні та механотронні системи: теорія, інновації, практика». 5 листопада 2015 року. Полтава. 2015. С. 65—68.

Волосов В. В., доктор технических наук, старший научный сотрудник,  
Институт космических исследований  
Шевченко В. Н., кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник,  
Институт космических исследований

## СИНТЕЗ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ ОРИЕНТАЦИЕЙ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА НА ОСНОВЕ ОБОБЩЕНИЙ ПРЯМОГО МЕТОДА ЛЯПУНОВА

**Аннотация.** Известные обобщения прямого метода Ляпунова на исследование устойчивости инвариантных множеств динамических систем применены к решению задачи синтеза управления ориентацией космических аппаратов (КА). Получены обобщения существующих алгоритмов управления ориентацией и стабилизации КА относительно инерциальной системы координат (СК). Предложены новые алгоритмы управления ориентацией и стабилизации КА относительно вращающейся (орбитальной) СК.

**Ключевые слова:** космический аппарат, управление ориентацией, устойчивость инвариантных множеств, алгоритмы управления.

Задачи совершенствования систем управления ориентацией и стабилизацией космических аппаратов (КА) представляют собой непреходящую актуальность для космической техники, начиная с ее зарождения. Постоянно возрастающее функциональное содержание и сложность задач, решаемых современными КА, предъявляют соответственно все более ужесточающиеся требования к качеству процессов управления их ориентацией. Так, например, в задачах дистанционного зондирования Земли получение снимков с высокими разрешающей способностью и точностью географической привязки напрямую связано с повышением точности ориентации. Наибольшим потенциалом в реализации этих требований имеют системы управления, в программно математическом обеспечении которых используются методы и алгоритмы управления ориентацией, основанные на использовании кватернионов. Именно на развитие и усовершенствование таких алгоритмов направлены исследования, результаты которых отражены во многих современных публикациях. Однако в работах, посвященных решению задач исследования устойчивости и синтеза алгоритмов управления ориентацией, отражены недостаточно четко или вообще не отражены особенности систем дифференциальных уравнений углового движения КА, вектор состояния которых составлен из компонентов кватернионов или, более конкретно параметров Родрига-Гамильтона. Эти системы уравнений имеют интеграл движения – норма вектора состояния тождественно равна единице. Кроме того, геометрически одной и той же ориентации КА соответствуют два значения вектора состояния или компонентов кватерниона. Поэтому никакое решение такой системы не может быть асимптотически устойчивым в смысле соответствующих классических математических определений этого понятия или свойства. Присущему таким системам свойству соответствует определение условной асимптотической устойчивости или устойчивости на многообразиях.

Настоящий доклад посвящен частичному устранению вышеназванных замечаний.

Предложена математическая модель управляемого процесса углового движения КА, в которой процесс эволюции его кинематических переменных описывается нелинейными дифференциальными уравнениями с вектором фазового состояния в компонентах кватернионов. Предложенная модель описывает ориентацию КА как относительно орбитальной системы координат (ОСК), так и относительно инерциальной (ИСК). Для синтеза алгоритмов управления используются известные обобщения прямого метода Ляпунова исследования устойчивости отдельных решений систем уравнений на исследование устойчивости инвариантных множеств таких систем. Предложены конкретные виды функций Ляпунова, положительно определенных относительно этих множеств.

Получены обобщения существующих алгоритмов управления ориентацией КА относительно ИСК со случая совмещения связанной системы координат (ССК) на случай ее произвольного задания. Предложены новые алгоритмы достижения произвольной ориентации КА и ее стабилизации относительно ОСК.

Выполнено компьютерное моделирование динамики процессов ориентации КА с использованием предложенных алгоритмов. Выполнена серия вычислительных экспериментов, проиллюстрировавшая их эффективность.



**Гриценко В. І.**, кандидат технічних наук, професор,  
Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій і систем  
**Тимченко А. А.**, доктор технічних наук, професор,  
Черкаський державний технологічний університет  
**Триус Ю. В.**, доктор педагогічних наук, кандидат фізико-математичних наук, професор,  
Черкаський державний технологічний університет

## КОМП'ЮТЕРНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЯК ОБ'ЄКТ СТВОРЕННЯ І ВПРОВАДЖЕННЯ

**Анотація.** Розглянуто основні науково-методологічні положення, що стосуються системного підходу до дослідження комп'ютерних інформаційних технологій як об'єкту створення та використання, що є узагальненням досвіду діяльності авторів у галузі створення та впровадження інформаційних технологій управління в науці, освіті та медицині [1].

**Ключові слова:** системні дослідження, системний підхід, комп'ютерні інформаційні технології.

**Системний аналіз історії питання.** Як відомо розвиток обчислювальної техніки великою мірою сприяв формуванню інформаційних технологій (ІТ), як деякої товарної продукції. Інформаційне забезпечення перших ЕОМ включалось до так званого математичного забезпечення, що складалось з мов програмування, які описували «структуру» та «алгоритми» опрацювання даних. Формування даних у структури баз даних надало можливість з математичного забезпечення виокремити програмне забезпечення, як самостійне, що включає опис структур даних і мов програмування та спілкування. Сьогодні ЕОМ вийшли зі сфери розробки і прийшли в сферу використання.

Широке провадження ЕОМ у різних сферах народного господарства та оборонної галузі промисловості сприяло появі нової категорії спеціалістів – користувачів ЕОМ, котрі зосередилися на аналізі інформаційних процесів і використанні ЕОМ, як засобів для реалізації інформаційних технологій (на ряду з матеріальними та енергетичними). В першу чергу – це були теорії керування, які формувались на базі нової науки кібернетики, а потім і всі інші технології відповідно до етапів життєвого циклу поколінь техніки та технологій (включаючи й інформаційні).

Весь кінець 60-х і початок 70-х рр. ХХ ст. спостерігався розквітом використання ЕОМ при створенні автоматизованих систем управління (АСУ), систем автоматизованого проектування (САПР), автоматизованих систем наукових досліджень (АСНД), навчання, лікування та ін. В Інституті кібернетики АН УРСР було створено наукове відділення ІТІС – інформаційних технологій і систем під керівництвом заступника директора Інституту В. І. Гриценко, що великою мірою сприяло становленню в Черкаському інженерно-технологічному інституті факультету з подібною назвою – ФІТІС.

Коли Україна стала суверенною країною, «повіяв вітер із Заходу» і ринкові відносини в житті країни набули пріоритетного характеру, то роль комп'ютерних технологій широкого призначення підсилилася ще в більшій мір. І як тільки з'являється «початковий капітал», то спостерігається інтенсифікація впровадження ІТ у різні сфери людської діяльності.

**Науково-методологічні основи розробки і впровадження ІТ.** Системний підхід до створення науково-методичних основ ІТ базується на широкому використанні понять «система» і «системний аналіз», як методології дослідження і створення складних систем, що впливає з основ загальної теорії систем (ЗТС) та формальної теорії розв'язування задач (ФТРЗ). Складна інформаційна система розглядається як поступово еволюційне ускладнення: від мережі зв'язаних елементів, через їх системну упорядкованість і виділення досліджуваної частини інформаційного середовища до так званого технологічного визначення у вигляді технологічної послідовності:

$$\Sigma = \{ \langle \text{будова (елементи + зв'язки)} \rangle, \langle \text{функціонування (сигнали + функції елементів)} \rangle, \langle \text{ціледосягнення (цілі + методи прийняття оптимальних рішень)} \rangle \}.$$

На етапі системного аналізу «будова» вводиться поняття «структури» як мережі зв'язків між елементами, яка традиційно може бути представлена матрицею зв'язків і формується так званий структурний підхід до опису складних систем, коли незалежно описуються як елементи, так і зв'язки між ними, включаючи зв'язки елементів між собою та системними входами і виходами. Якщо так не завжди вдається аналітично описати, то важливо описати в «мовних середовищах» сучасних мереж ЕОМ (зокрема «хмарних технологіях»).

У роботі [2] на прикладі відомого матричного рівняння лінійної статичної системи:

$$AX = BY,$$

де:  $X$  – вихід з системи, як сукупності зв'язаних елементів,  $Y$  – системний вихід, матриці  $A$  ( $a_{ij}$ ,  $s_{ij}$ ),  $B$  ( $b_{ij}$ ,  $s_{ij}$ ) елементів зв'язків (які не обов'язково повинні бути «одичними») включають в себе опис всіх видів матриць зв'язків  $S$ , проведений системний аналіз і можливі схеми його використання. Такий опис надає можливість при дослідженні структури системи, а також при пошуку її оптимальної структури в задачах структурної оптимізації, використовувати ці матриці, як параметри. Відомі, наприклад, цілі класи інформаційних систем в автоматизації із змінною (або керованою) структурою. Зрозуміло, що ці процеси відбуваються в так званій надсистемі, де керована частина системи є підсистемою.

На етапі «функціонування» системний аналіз використовується для подальшої деталізації і уточнення як структури системи, знайденої як локально-оптимальної на попередньому етапі, так і пошук алгоритмів функціонування (управління) при реалізації технологічних послідовностей функціонування, відповідно до заданих вимог (конструктивних, технологічних та інших обмежень, обумовлених особливостями реалізації матеріальних, енергетичних, а також інформаційних процесів). Це те, що в традиційних оптимізаційних задачах задається як модель процесів та обмежень на фізичну реалізацію системи. Наприклад, створюючи той, чи інший засіб транспортування на цьому етапі розглядається його логістичне використання – це можуть бути перевезення вантажів і пасажирів, а також військове використання та ін. Якщо на першому етапі системного аналізу ключову роль відіграє конструкція, то на даному етапі – процес функціонування. При цьому виникає потреба додатково ввести до розгляду поняття «стану», як сукупності значень змінних, які характеризують ці процеси. І традиційно при цьому використовується матричне рівняння:

$$X' = AX + BY,$$

де:  $X$  – змінні стану вже динамічної системи, а матриці  $A$  і  $B$  враховують не лише будову системи, а й відображають її функціонування. В якості вхідних змінних виступають не тільки зовнішні впливи на систему з навколишнього середовища, а й внутрішні впливи – для забезпечення її «гомеостазу».

*Етап ціледосягнення.* Задача системних досліджень складається в підпорядкуванні такої структурованої системи, (як забудовою, так і процесами) деякій систем (надсистемі). Наприклад, в лінійному випадку при обов'язковій вимозі підпорядкування у вигляді функції-предикате:  $\chi = [X=Y]$ , де  $\chi = \{0, 1\}$ , а  $X$  та  $Y$  – деякі змінні,  $X$  – вихід із самої системи, а  $Y$  – вихід з деякої зовнішньої системи (включаючи систему вимог). Наприклад, використовуючи модель статичної системи, можна знайти параметри (і структуру) системи, а для динамічної системи – це будуть керуючі впливи для забезпечення «гомеостазу» системи.

**Висновок.** Все вищевикладене вписується в логічну форму системного підходу:

<мета - дерево цілей> - <задачі - логічна структура> - <методи - алгоритми> -  
<засоби - програмно-методичні та програмно-технічні> ,

який доцільно використовувати при дослідженні комп'ютерних інформаційних технологій, як об'єктів створення і впровадження.

## Література

1. Гриценко В. І., Тимченко А. А., Триус Ю. В. Системні дослідження інформаційних технологій у науці, освіті та медицині. Матеріали XXIII міжнародної конференції з автоматичного управління. Автоматика-2016. м. Суми. 22-23 вересня 2016 року. Суми. Сумський державний університет. 2016. С. 127—128.
2. Тимченко А. А. Системний аналіз процесів і моделей взаємозв'язків та взаємодій. Вісник ЧДТУ. 2017. №1. С. 111—117.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ УГЛОВОГО ДВИЖЕНИЯ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА ПО ИНФОРМАЦИИ ЗВЕЗДНОГО ДАТЧИКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИНАМИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ В ПАРАМЕТРАХ РОДРИГА - ГАМИЛЬТОНА

**Аннотация.** Рассматриваются вопросы построения алгоритмов определения параметров вращательного движения космического аппарата по информации звездного датчика с использованием динамического уравнения движения в параметрах Родрига –Гамильтона. Приведены результаты моделирования работы предложенных алгоритмов.

**Ключевые слова:** космический аппарат, кватернион, звездный датчик.

В докладе рассмотрены вопросы определения параметров вращательного движения космического аппарата по информации звездного датчика с помощью динамического фильтра. При этом в качестве модели вращательного движения космического аппарата использовались динамические уравнения движения в параметрах Родрига-Гамильтона [1].

**Постановка задачи.** Пусть вращательное движение КА относительно инерциальной системы координат описывается дифференциальным уравнением второго порядка относительно параметров Родрига-Гамильтона

$$\ddot{A} = (I_4 - A \cdot A^T) \cdot U - A \cdot \|\dot{A}\|^2. \quad (1)$$

В уравнении (1) вектор управления  $U \in R^4$  связан с создаваемым исполнительными органами моментом управления  $M_u \in R^3$  зависимостью

$$U = \frac{1}{2} A^T (A) J^{-1} \cdot [M_u - \omega \times J \omega],$$

$$A(A) = [-\lambda \quad \lambda_0 I_3 - \Phi(\lambda)].$$

На борту КА имеется звездный датчик, который в моменты времени  $t_k$  выдает значение кватерниона перехода  $A$  от инерциальной системы координат к связанной системе координат. Необходимо найти уравнение динамического фильтра для получения оценок  $\hat{A}, \dot{\hat{A}}$  по выходной информации звездного датчика  $y = A$ .

**Полученные результаты.** Для уравнения (1) по измерению  $y = A$  получено уравнения динамического фильтра в виде линейного наблюдателя с постоянными коэффициентами и приведены результаты численного моделирования.

### Литература

1. Ефименко Н. В. Синтез алгоритмов управления пространственной переориентацией космического аппарата с использованием динамических уравнений вращательного движения твердого тела в параметрах Родрига Гамильтона. Проблемы управления и информатика. 2015. №3. С. 145—155.

Лебедев Д. В., доктор технических наук, старший научный сотрудник,  
Международный научно-учебный центр информационных технологий и систем

## К ЗАДАЧЕ КООРДИНАТНОЙ ПРИВЯЗКИ СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ

**Аннотация.** Исследуется возможность повышения точности привязки космических снимков по орбитальным данным за счет использования в процедуре полетной геометрической калибровки съемочной аппаратуры космического аппарата редуцированных алгоритмов и системы виртуальных ориентиров.

**Ключевые слова:** спутниковые снимки, координатная привязка, редуцированные алгоритмы, виртуальные ориентиры

Функционирование спутников наблюдения Земли по назначению происходит тогда, когда выполненные ими снимки интересующих районов земной поверхности могут быть привязаны по данным бортовых источников информации космического аппарата (КА) – орбитальным данным – с точностью, позволяющей проводить дальнейшую обработку изображений. Упомянутая обработка может включать и процедуры доведения точности координатной привязки объектов съемки до уровня, заявленного в требованиях к конечному продукту.

Под привязкой космических снимков здесь понимаются процедуры обработки снимков, в результате которых каждому элементу изображения ставятся в соответствие его координаты на земной поверхности.

Повышению уровня точности привязки снимков способствует, в первую очередь, уточнение остаточной неопределенности взаимной ориентации базисов  $E$  и  $K$  звездного датчика и съемочной аппаратуры (камеры), характеризуемой малым вектором ориентации  $\theta_E = \{\theta_1, \theta_2, \theta_3\}$  (индексы у векторов здесь и далее указывают базисы, в которых они заданы). Процедура уточнения остаточной неопределенности реализуется за счет полетной геометрической калибровки, выполняемой, например, с привлечением системы наземных точечных ориентиров (как топографически привязанных, так и априори неизвестных).

Учитывая роль полетной геометрической калибровки в процедуре привязки снимков из космоса, а также немаловажные факторы оперативности и трудоемкости выполнения этой калибровки (в том числе и затраты бортовых источников энергии при управлении ориентацией КА в процессе съемки), цель данной работа – обоснование методики и алгоритмов калибровки при минимальном числе топографически привязанных точечных ориентиров и кадров съемки подспутникового полигона.

Погрешность координатной привязки снимка возникает, прежде всего, из-за отклонения линии визирования съемочной камеры от истинного направления на объект съемки, обусловленного наличием возмущающих факторов. Если характеризовать это отклонение углом  $\rho$ , то он связан с координатами вектора  $\theta_E$  соотношением [1]:

$$\sin \rho = \frac{\|\Phi^2(\mathbf{e}_K)\theta_E\|}{\sqrt{1 - \theta_E^T \Phi^2(\mathbf{e}_K)\theta_E}} \approx \|\Phi^2(\mathbf{e}_K)\theta_E\|, \quad (1)$$

где:  $\Phi(\cdot)$  –  $(3 \times 3)$  – матрица оператора векторного умножения,  $\mathbf{e}_K$  – орт линии визирования.

Применительно к съемочной аппаратуре с узким полем зрения, свойственной для спутников наблюдения Земли с высоким и сверхвысоким разрешением, формула (1) для вектора  $\delta\theta_E = \{\delta\theta_1, \delta\theta_2, \delta\theta_3\}$  принимает вид:

$$\rho \cong \sum_{i=1}^3 \sqrt{1 - e_{iK}^2} |\delta\theta_i| \cong |\delta\theta_1| + |\delta\theta_2| + \sqrt{e_{1K}^2 + e_{2K}^2} |\delta\theta_3|. \quad (2)$$

Анализ выражения (2) позволяет, с одной стороны, оценить вклад каждой компоненты вектора  $\delta\theta_E$  в ошибку привязки объектов съемки, а с другой стороны – обосновать

возможность корректного построения алгоритма полетной геометрической калибровки для координат  $\theta_1$  и  $\theta_2$  вектора  $\theta_E$ , которые хорошо оцениваемы.

Применительно к съемочной аппаратуре КА с высоким и сверхвысоким разрешением, исследована задача точной координатной привязки космических снимков только по орбитальным данным.

Предложены два варианта процедуры полетной геометрической калибровки: так называемые В- и R-калибровки. Первый вариант (базовый) предусматривает построение алгоритма оценки всех координат вектора  $\theta_E$ , второй – редуцированный алгоритма – уточняет значения только координат  $\theta_1$  и  $\theta_2$  указанного вектора. Оба варианта калибровки базируются на фотограмметрическом условии компланарности и системе известных наземных ориентиров и ориентиров, выбираемых произвольным образом, – виртуальных ориентиров.

Точная привязка снимков по орбитальным данным возможна на основе R-калибровки, выполненной по информации о положении единственного наземного ориентира на одном снимке подспутникового полигона. Достижимая при этом точность координатной привязки объектов съемки для различных вариантов задания численных значений параметров в системе возмущающих факторов в два – три раза превосходит точность привязки, получаемой при тех же условиях по результатам В-калибровки и двух наземных ориентирах.

При одном снимке полигона повышение точности привязки по данным В-калибровки возможно в том случае, если найдется такое количество  $N_3 > 2$  наземных ориентиров, обработка информации о которых гарантирует оценку координаты  $\theta_3$  вектора  $\theta_E$  со стандартным отклонением  $\sigma_3$ , существенно меньшим значению  $\sigma_3$  до калибровки.

3. Таким образом, исследована задача координатной привязки объектов съемки из космоса только по орбитальным данным. Показана возможность точной привязки космических изображений по информации о минимальном числе координатно привязанных ориентиров, расположенных на единственном снимке подспутникового полигона. Компьютерное моделирование иллюстрирует эффективность предлагаемых алгоритмических решений.

### Литература

1. Лебедев Д. В. О привязке космических снимков по орбитальным данным. Международный научно-технический журнал «Проблемы управления и информатики». 2016. № 6. С. 114—120.

Омельяненко О. В., аспирантка,  
 Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»  
 Северин В. П., доктор технических наук, профессор,  
 Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»

## УПРАВЛЕНИЕ ПОТОКАМИ МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРОПОЕЗДА С НАКОПИТЕЛЕМ ЭНЕРГИИ

**Аннотация.** Описується система тягового приводу електрорухливого складу з накопичувачем енергії, розглянуті режими її роботи, запропонована система управління процесами обміну енергією між тяговими електродвигунами, накопичувачем енергії та контактною мережею, а також визначена енергетична ефективність запропонованої системи.

**Ключові слова:** тяговий привод електрорухливого складу, накопичувач енергії, система управління, енергетична ефективність.

Одним из решений проблемы энергосбережения в области железнодорожного транспорта является использование на борту электроподвижного состава (ЭПС) накопителей энергии (НЭ). В режиме тяги для питания тягового привода с НЭ может быть одновременно использован ток, поступающий как от токоприемника, так и от бортового НЭ. В режиме рекуперативного торможения энергия может быть возвращена в контактную сеть и одновременно передана в НЭ. При работе ЭПС согласно ситуации соотношение потока мощности между контактной сетью и бортовым НЭ могут автоматически изменяться.

**Целью доклада** является представление системы управления тяговым приводом ЭПС с НЭ, обеспечивающей эффективный процесс обмена энергией между тяговыми электродвигателями, НЭ и контактной сетью.

**Объектом исследования** принят пригородный 4-х вагонный поезд массой 140 тонн с 560 пассажирами, который при мощности 1720 кВт с ускорениями при разгоне и торможении не более  $0,75 \text{ м/с}^2$  обеспечивает движение со скоростью до 160 км/ч. Система его энергообеспечения включает два тяговых агрегата, каждый из которых питает половину поезда [1]. В состав тягового агрегата входит инерционный накопитель с энергией обмена 20 МДж при максимальных значениях мощности 1,07 МВт и напряжения 2900 В, а также номинальном токе 370 А в интервале частот вращения ротора 1071...421 1/с.

Таким образом, тяговый агрегат, схема которого приведена на рисунке 1, содержит две параллельно включенных цепи – тяговую и накопителя, что дает возможность распределять поток электрической энергии на привод и хранение [2]. Основная стратегия такой системы управления состоит в обеспечении компенсации излишков или нехватки мощности инвертора тяги за счет управления током накопителя по информации о режимах работы инвертора тяги и значениях напряжения на входе конвертора  $u_{ch}$  [3]. Преобразовав пропорционально-интегральным звеном  $PI$  разницу тока контактной сети  $\Delta i_p = i_p - i_{p\text{limit}}$  во входное пороговое напряжение прерывателя  $u_{ch}^*$ , мы можем управлять этим напряжением по току контактной сети  $i_p$ . Это позволяет предотвратить нежелательный отток тока из накопителя в контактную сеть в режиме тяги или нежелательный приток тока из контактной сети к накопителю в режиме рекуперации.

Для оценки эффективности использования накопителя принят коэффициент:

$$K_{efs} = \frac{J_s \cdot (\omega_{send}^2 - \omega_{sdv}^2)}{m_{ps} \cdot (v_{psstB}^2 + v_{psendT}^2)},$$

где:  $J_{ps}$  – момент инерции подвижного состава,  $m_{ps}$  – масса подвижного состава,  $v_{psstB}$  и  $v_{psendT}$  – скорость подвижного состава на момент начала торможения и на момент окончания разгона соответственно,  $\omega_{send}$  и  $\omega_{sdv}$  – частота вращения ротора накопителя на момент

окончания рекуперации и на момент достижения накопителем "мертвого объема" соответственно.

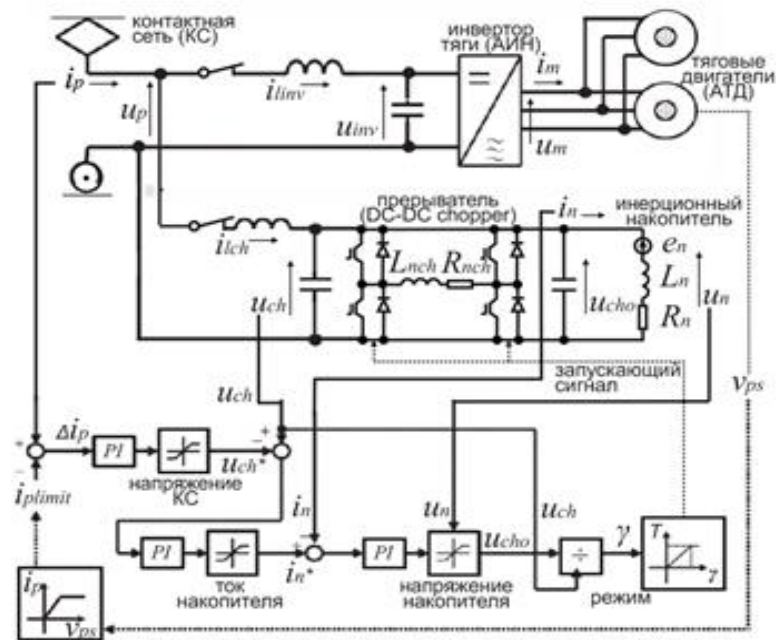


Рисунок 1 - Схема управления перетоком мощности в тяговом агрегате

Расчет показал, что при варьировании ускорений поезда в пределах  $0.28...0.55 \text{ м/с}^2$  коэффициент эффективности использования накопителя составил  $0.37...0.28$ . Таким образом за один цикл "торможение-разгон" экономится порядка 40% энергии. Коэффициент эффективности  $K_{efs}$  достигает максимума не при граничных значениях интервала выбранных ускорений, а при некотором промежуточном значении из этого интервала. Это приводит к задаче поиска максимальной эффективности работы накопителя в виде задачи оптимизации.

**Выводы.** Предложенная система управления потоками мощности для электроподвижного состава с накопителем дает возможность сэкономить за цикл "торможение-разгон" около 40 % энергии. Поиск максимальной эффективности работы накопителя нуждается в решении задачи оптимизации.

### Литература

1. Омеляненко В. И., Рябов Е. С., Оверьянова Л. В. Инерционный накопитель энергии – перспективная технология энергосбережения для электроподвижного состава. Вестник Всероссийского научно-исследовательского и проектно-конструкторского института электровозостроения. 2013. № 1(65). С. 38—54.
2. Masamichi Ogas, Yoshiaki Taguchi. Power Flow Control for Hybrid Electric Vehicles Using Trolley Power and On-board Batteries. QR of RTRI. Vol. 48. № 1. 2007. Feb. 30-36.
3. Северин В. П., Оверьянова Л. В., Омеляненко В. И. Управление потоком мощности в тяговом приводе пригородного электропоезда при питании от контактной сети и инерционных накопителей энергии. Вісник НТУ «ХПІ». Серія: системний аналіз, управління та інформаційні технології. Харків. НТУ «ХПІ». 2015. №58 (1167). С. 29—32. ISSN 2079-0023.

## ОПТИМАЛЬНІ ПЕРЕХОДИ МІЖ БЛИЗЬКИМИ ЕЛІПТИЧНИМИ ОРБИТАМИ З ВРАХУВАННЯМ ТІНІ

**Анотація.** Побудовано програми оптимального реактивного прискорення міжорбітального транспортного апарату з сонячною електрореактивною рушійною системою, що виконує доставку корисного вантажу між близькими еліптичними орбітами в навколосемному просторі. Критерієм оптимальності є максимум маси корисного вантажу. Проаналізовано вплив тіні Землі на ефективність роботи рушійної системи.

**Ключові слова:** міжорбітальний транспортний апарат, оптимальний перехід, електрореактивний двигун, тінь.

Однією з найбільш важливих проблем сучасної космонавтики, є розробка міжорбітальних транспортних апаратів (МТА), здатних забезпечувати ефективне переміщення вантажів між навколосемними орбітами. Для вирішення таких задач необхідним є створення методик по визначенню типу, структури і взаємодії елементів рушійної системи (РС) МТА, які забезпечують виконання планованої місії найкращим чином. Що, в свою чергу, призводить до необхідності сумісної оптимізації перехідних траєкторій, а також параметрів і способів управління роботою модулів рушійної системи. Необхідність пошуку керувань, траєкторій і параметрів РС при вирішенні єдиного завдання оптимізації обумовлена впливом параметрів РС на її масу, на розміри множини допустимих керувань, і, отже, на вибір траєкторії.

У зв'язку з надзвичайно великою вартістю виведення на орбіту одиниці маси, істотне значення набуває питання про максимальне збільшення відсотка маси корисного навантаження в початковій масі МТА, причому таким чином, щоб поставлена місія була здійснена.

Найбільш ефективними серед сучасних і перспективних реактивних двигунів з токи зору економічності витрати робочого тіла для генерації тяги є електрореактивні двигуни (ЕРД). Їх використання дозволяє істотно збільшити масу корисного навантаження, або якщо маса корисного навантаження задана, істотно зменшити масу робочого тіла в порівнянні з випадком використання традиційних хімічних двигунів великої тяги. Незважаючи на те, що кращі зразки сучасних та перспективних ядерних реакторів за своїми характеристиками перевищують сонячні батареї (СБ), через міркування екологічної безпеки саме СБ залишаються основним джерелом енергії для енергозабезпечення ЕРД при маневруванні в навколосемному просторі.

Класична сонячна електрореактивна РС складається з двох основних компонентів: СБ та ЕРД. Одним з головних негативних факторів, які впливають на роботу такої РС є неможливість функціонування під час перебування МТА в тіні Землі, що призводить до наявності вимушених пасивних дуг траєкторій міжорбітальних переходів.

Розглянуто задачу оптимізації керувань, траєкторій та параметрів МТА, що виконує маневр малої зміни оскулюючих параметрів еліптичної орбіти протягом одного оберту навколо гравітаційного центру в центральному ньютонівському гравітаційному полі. Мета оптимізації – максимум маси корисного вантажу. Рух МТА моделюється рухом матеріальної точки змінної маси. Початкова маса МТА складається з маси СБ (джерело енергії), маси ЕРД, маси робочої речовини ЕРД та маси корисного навантаження. Вважаємо точки входу в тінь та виходу з тіні заданими. Оптимізацію керувань виконано за допомогою принципу максимуму Понтрягіна. Лінеаризовані рівняння руху проінтегровано в елементарних функціях. Отримано аналітичні вирази для оптимальних мас складових МТА. Проведено оцінку впливу тривалості та розташування тіньової дуги траєкторії на погіршення критерію якості задачі. Виявлено, що збільшення тривалості тіньової дуги приводить до зменшення маси корисного навантаження. Найбільш негативний вплив тіні спостерігається у випадку коли в зону тіні попадають дуги траєкторії з відносно великим значенням модуля вектора бажаного реактивного прискорення (реактивного прискорення, яке бажано реалізувати за відсутності тіні).



УДК 681.2.083

Древецький В. В., доктор технічних наук, професор,  
Національний університет водного господарства та природокористування  
Муран Р. О., аспірант,  
Національний університет водного господарства та природокористування

## КОМБІНОВАНИЙ ГІДРОДИНАМІЧНО-ОПТИЧНИЙ МЕТОД ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТИ

**Анотація.** Розглянуто метод визначення витрати у відкритому потоці на основі аналізу гідродинамічних процесів створених нерухомою перешкодою та розпізнавання зон турбулентності на поверхні води засобами комп'ютерного зору.

**Ключові слова:** відкритий потік, витрата, комп'ютерний зір, розпізнавання зображення.

Тіла обтікання, що занурені у потік змінюють його напрямок та спричиняють появу зон турбулентності та перепаду тиску попереду та позаду перешкоди. Дослідження таких гідродинамічних процесів є важливими зокрема для гідротехнічного будівництва, визначення стійкості опор, опису процесів розмиву річкового дна, оцінки витрат та швидкостей потоків води у відкритих руслах. Основним недоліком прямих вимірювань параметрів зон турбулентності є вплив геометричних розмірів давачів на вимірювальне середовище, та необхідність їх постійного обслуговування в умовах роботи з гідравлічними ударами. Дане дослідження спрямоване на розробку непрямого методу вимірювання витрати у відкритому руслі за допомогою візуального сканування зон турбулентності, що виникають навколо встановленої у потік перешкоди.

Сучасні потужні мікропроцесорні засоби та гнучкість наявних платформ для їх програмування та конфігурування дозволяють застосувати комбінований гідродинамічно-оптичний метод вимірювання.

Його суть полягає у встановленні біля перешкоди у каналі камери, що веде відеофіксацію навігаючих хвиль, а спеціалізоване програмне забезпечення мікропроцесорного пристрою сконфігуровано таким чином, щоб розпізнавати отримані зображення та, на їх основі, визначати висоту навігаючої хвилі з достатньою точністю. З метою підвищення точності вимірювань, необхідним є створення вимірювального комплексу, який буде обробляти не лише візуальне зображення поверхні, але й братиме до уваги миттєві значення швидкостей на різних глибинах. Пропонується використання каскаду тензорезистивних давачів, закріплених на поверхні перешкоди, що дозволить з достатньою точністю визначити епіюру швидкості потоку, а як наслідок збільшити точність вимірювань витрати.

Було проведено експериментальні дослідження на вимірювальних лотках. У лоток прямокутної форми, шириною 0.965 м було поміщено тіла обтікання різної форми, зокрема циліндричної, прямокутної, трапецевидної. Було отримано наступні результати: найбільші геометричні розміри зон турбулентності та навігаючої хвилі спостерігались для перешкоди у формі прямокутного кутника спрямованого гранями у напрямку протилежному до потоку.

Оскільки було запропоновано саме оптичний метод визначення висоти навігаючої хвилі, під час проведення досліджень було отримано цифрові зображення зон перепаду тиску навколо вимірювальних перешкод.

На рис. 1 наведено зображення перешкоди у потоці при витраті  $Q=0.0703 \text{ м}^3/\text{с}$ . Чітко видно не лише навігаючу на перешкоду хвилю, рівень якої вищий ніж у потоці, а й зону зниженого тиску позаду перешкоди, рівень води у якій нижчий ніж у потоці, що дозволяє говорити про можливість проведення подальшого аналізу за допомогою засобів мікропроцесорної техніки.

Проте для отримання достовірної інформації необхідно попередньо проводити цифрову фільтрацію та аналіз зображень за допомогою порогових фільтрів, що дозволяє виділяти контури поверхні води.

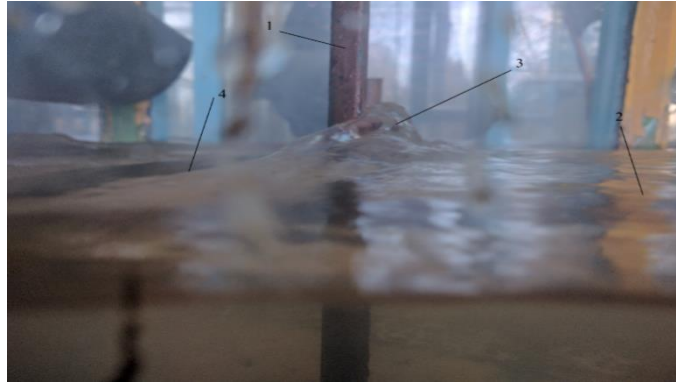


Рисунок 1 – Цифрове зображення гідродинамічних процесів навколо обраного тіла обтікання:  
 1 – тіло обтікання, 2 – потік, 3 – зона високого тиску попереду перешкоди (набігаюча хвиля),  
 4 – зона низького тиску позаду перешкоди.

Розпізнавання отриманих зображень та відеопотоку проводилось у середовищі CodeBlocks з використанням бібліотеки OpenCV. Створена програма на основі порогових фільтрів не лише виділяє контури потоку води, але й дозволяє проводити підстроювання фільтрів у ручному режимі, що доцільно при змінах освітленості та кольору вимірювального потоку. Обробка зображення здійснена шляхом вирізання лише необхідної частини зображення, конвертації колірної моделі отриманого з RGB (червоний, зелений, синій) у HSV (тон, насиченість, яскравість) та подальшого задання порогових значень характеристик кольору. Зручність даного методу полягає у простоті подальшого отримання результатів вимірювань, оскільки, відфільтроване зображення містить лише два кольори, які програмно перетворюються у двійкові значення. Важливо зазначити, що з метою зниження візуального шуму існує необхідність встановлення додаткових джерел освітлення або використання підфарбовувачів яскравого кольору. На рис. 2 зображено вікно створеної програми з відфільтрованим зображенням та вікном ручного налаштування фільтра.

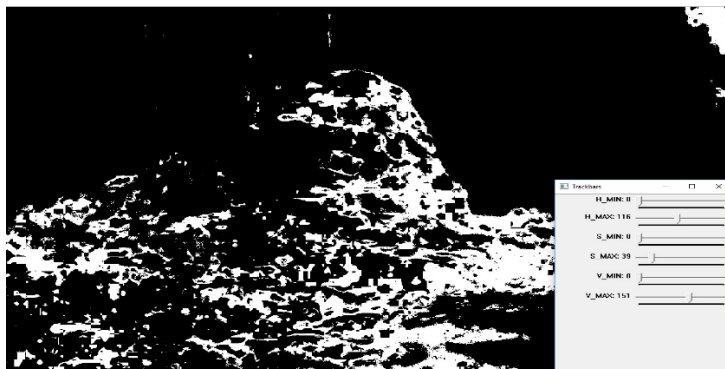


Рисунок 2 – Вікно створеної програми з відфільтрованим зображенням та вікном ручного налаштування порогового фільтра

Отже в результаті дослідження було встановлено залежності між геометричною формою перешкоди у відкритому руслі та гідродинамічними параметрами потоку та розроблено програмне забезпечення для вимірювання висоти набігаючої хвилі засобами комп'ютерного зору.

### Література

1. Карвацький А. Я. Сучасний стан теоретичних досліджень надзвукового обтікання тіл різної конфігурації. Вісник НТУУ «Київський політехнічний інститут». 2015. № 1. С. 5—12.
2. Ушаков В. М. Анализобтекания тел с отрывным потоком в системе Solid Works / Flow Works. Машиностроение и смежные области. 2003. С. 2—9.
3. Остапів В. В., Піндус Н. М., Чеховський С. А. Критерії оптимізації форми тіл обтікання вихорвих витратомірів. Системи обробки інформації. 2010. № 9(90). С. 77—79.

## УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ БУРІННЯ З ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЮ ПІДТРИМКОЮ ПРОЦЕСІВ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

**Анотація.** Розглядається процес буріння свердловин, який здійснюється за допомогою інтелектуальної системи підтримки процесів прийняття рішень. Система призначена для підвищення показників ефективності буріння свердловин на нафтові та газові поклади. Для цього використовується сучасні методи ІТ-технологій.

**Ключові слова:** управління процесом буріння, інтелектуальна система підтримки процесів прийняття рішень.

Із розвитком нафтогазової промисловості зростають обсяги буріння свердловин. Процес буріння свердловини є нелінійним стохастично-хаотичним, який здійснюється за умов апріорної та поточної невизначеності та перебуває під впливом різного типу збурень [1, 2]. До головних збурювальних впливів належать фізико-механічні і абразивні властивості гірських порід, які є недосяжними для вимірювань.

Метою даної роботи є підвищення ефективності автоматизованого управління процесом буріння свердловин.

Відзначимо, що основними факторами будь-якої системи управління є мета, інформація про стан об'єкта управління і середовища, керувальні дії, алгоритм керування. Складності процесу побудови системи управління визначаються складністю об'єкта керування, а саме, відсутністю математичного опису, недетермінованістю, нестационарністю, відсутністю апріорної і поточної інформації про зовнішні збурення.

В нафтогазовій промисловості все більшого значення сьогодні набувають такі розробки в області інформатики, як нечітка логіка, штучні нейронні мережі, генетичні алгоритми і ряд інших інформаційних технологій. Із застосуванням ІТ-технологій в бурінні свердловин може суттєво покращити якість управління процесом. Тому для вирішення поставленої мети запропоновано використання інтелектуальної системи керування.

Відзначимо, що інтелектуальні системи керування (ІСК) – це системи керування, здатні до «розуміння» та навчання стосовно до об'єкта керування, збурень, зовнішнього середовища та умов роботи. Для реалізації своїх функцій вони мають механізм отримання, зберігання і системної обробки знань. В основі створення ІСК для управління процесом буріння покладені два принципи – керування на основі аналізу зовнішніх збурень, ситуацій, подій (ситуаційне керування) та на основі використання сучасних ІТ-технологій оброблення знань. ІСК використовує такі технології як експертні системи, нечітка логіка, штучні нейронні мережі, генетичні алгоритми та ін. [3].

Розроблено функціональну структуру системи автоматизації процесу буріння свердловин, яка допомагає оператору приймати рішення з інтелектуальною підтримкою (рис. 1).

В основу даної системи покладено вміння працювати із знаннями бурильника (нечітка логіка, експертні системи), або властиві їм прийоми навчання і мислення (штучні нейронні мережі, генетичні алгоритми).

Оскільки під час буріння змінюються параметри і показники процесу буріння, система здійснює своєчасний збір даних та обробку їх для прийняття подальшого рішення.

На рис. 1 прийняті наступні позначення:  $F(t)$  – осьове зусилля на долото;  $n(t)$  – швидкість обертання долота;  $Q(t)$  – витрата бурового розчину;  $F_s(t)$ ,  $n_s(t)$ ,  $Q_s(t)$  – задаючі параметри;  $\tilde{F}(t)$ ,  $\tilde{n}_o(t)$ ,  $\tilde{Q}(t)$  – вхідні сигнали блоку вводу режимних параметрів;  $h(t_o)$  – проходка на долото;  $t_o$  – час буріння;  $N$  – потужність, яку споживає електробур;  $I$  – струм навантаження двигуна

електробура;  $v_M(t)$  – механічна швидкість буріння;  $\bar{f}$  – збурення, які діють на процес буріння;  $e_F(t), e_n(t), e_Q(t), e_h(t)$  – адитивні шуми в каналах вимірювань параметрів.

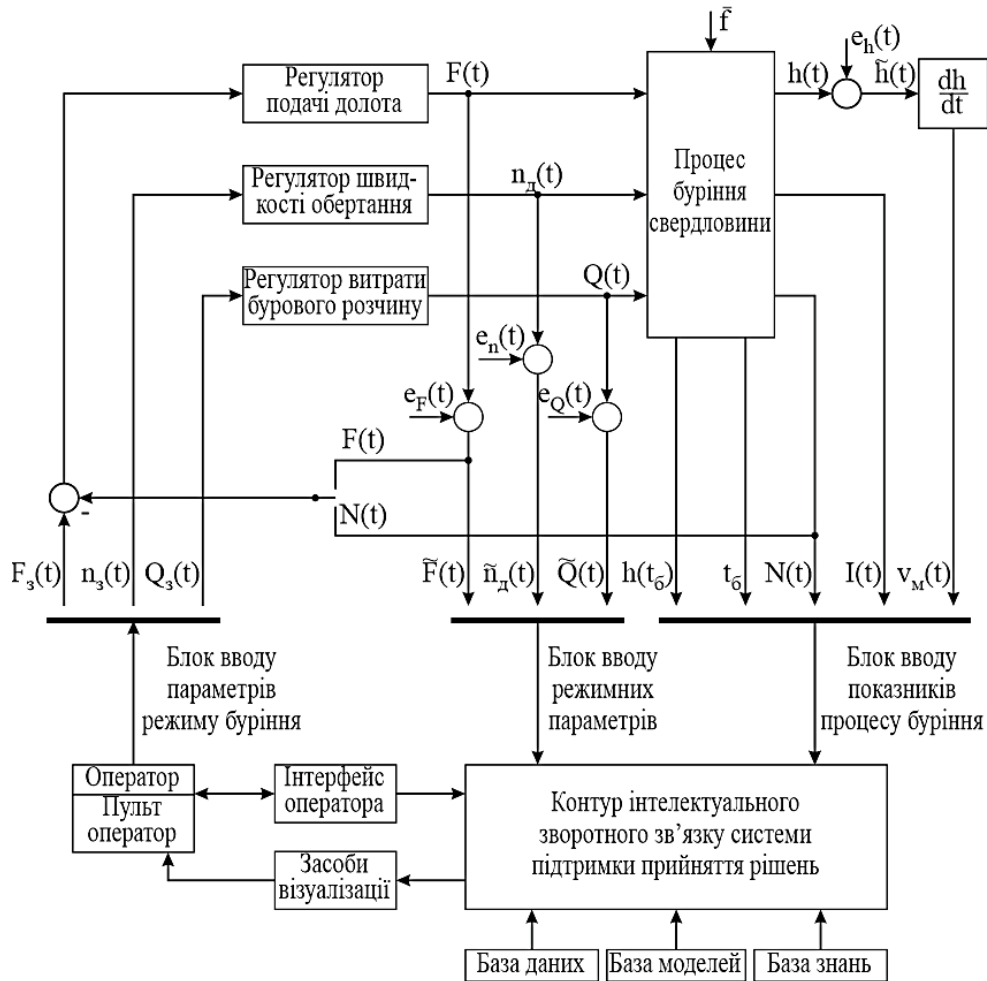


Рисунок 1 – Функціональна структура системи автоматизації процесу буріння свердловини електробурами з інтелектуальною підтримкою процесів прийняття рішень

**Висновок.** Розроблено функціональну структуру системи управління процесом буріння із інтелектуальною підтримкою процесів прийняття рішень при бурінні свердловин, яка на відміну від існуючих має ряд переваг над традиційним бурінням, таких як швидке прийняття рішень при управлінні, підвищення проходки на долото та зменшення собівартості метра проходки.

### Література

1. Семенцов Г. Н., Когуч Я. Р., Куровець Я. В., Дранчук М. М. Автоматизація технологічних процесів у нафтовій і газовій промисловості. Івано-Франківськ. ІФНТУНГ. 2009. 300 с.
2. Усков А. А., Кузьмин А. А. Интеллектуальные технологии управления. Искусственные нейронные сети и нечеткая логика. Москва. Горячая линия-Телеком. 2004. 143 с.
3. Семенцов Г. Н., Головата Ю. Б. Інтелектуальні системи керування технологічними процесами : навчальний посібник. Івано-Франківськ. ІФНТУНГ. 2012. 173 с.

Матус С. К., кандидат технічних наук, доцент,  
Національний університет водного господарства та природокористування  
Стеценко А. М.,  
Національний університет водного господарства та природокористування

## ПРОГРАМНО-АПАРАТНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ВОЛОГОЗАБЕЗПЕЧЕНІСТЮ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

**Анотація.** У роботі розроблено програмне-апаратне забезпечення автоматизованої системи керування вологозабезпеченістю сільськогосподарських культур за допомогою підгрунтового зволоження.

**Ключові слова:** підгрунтове зволоження, вологозабезпеченість, гідрорегулятор, нейронна мережа, мікропроцесорний блок, рівень ґрунтових вод.

Проблема керування вологозабезпеченням сільськогосподарських культур у цілому світі є надзвичайно важливою. Перетворення сільськогосподарського виробництва у високорозвинутий сектор економіки неможливе без зменшення його залежності від несприятливих природо-кліматичних умов шляхом ведення зрошувального землеробства у зонах недостатнього та нестійкого зволоження. В залежності від кліматичних умов, рельєфу, глибини залягання ґрунтових вод застосовують різні види зрошення: краплинне, дощування, полив по смугам і борознам, підгрунтове. Підгрунтове зволоження широко застосовують на територіях з глибиною залягання ґрунтових вод до 1.5-2 м та рівнинним рельєфом. Існуючі засоби водорегулювання потребують вдосконалення у напрямку покращення точності регулювання рівнів води, врахування впливу випадкових зовнішніх збурень, забезпечення ресурсозберігаючих режимів зрошення сільськогосподарських рослин в умовах дефіциту водних та енергетичних ресурсів, що створить умови для ефективного ведення землеробства.

Тому нами удосконалено конструкцію гідрорегулятора двосторонньої з гідромеханічним принципом та виконавчим механізмом непрямої дії [1] шляхом розширення його функціональних можливостей на основі принципу ситуаційного керування за допомогою програмованого мікроконтролера, що дає змогу організувати контроль та роботу за заданим алгоритмом керування, забезпечує необхідну точність, швидкодію та ефективність водорегулювання на кожному модулі осушувально-зволожувальної системи (ОЗС), який він обслуговує (рис. 1). В залежності від виду вирощуваних на модулі сільськогосподарських культур, схеми зволоження, часу вегетації та погодних умов регулятор може працювати в різних режимах. Регулювання рівня ґрунтових вод на модулі може здійснюватись або шляхом затримки дренажного стоку в початкові періоди вегетації чи в після дощові періоди, або шляхом подачі води на зволоження з каналу через колектор 2. Гідрорегулятор встановлений в регулюючому колодязі 1 і містить розміщений на колекторі 2 запірний орган 3 та давач рівня 4. Давач рівня знаходиться в трубі 5, яка через електромагнітний клапан (ЕК) 6 гідравлічна зв'язана з колодязем, а через ЕК 7 і трубу з фільтром 8 – з ґрунтовим масивом. Запірний орган містить еластичні клиновидні камери зв'язані з колектором 2, а через ЕК 15 і 16 – з колодязем. Камера 10 через шланг з ЕК 17 зв'язана з атмосферою. Давач рівня 4 електрично зв'язаний з вхідним портом обладнаного безпроводним інтерфейсом зв'язку мікропроцесорного регулятора 18, до вхідних портів якого підключено також давачі кількості опадів 19, температури 20 і вологості повітря 21, швидкості вітру 22. Вихідні порти мікроконтролера електрично зв'язані і керують станом електромагнітних клапанів 6, 7, 11, 12, 15, 16 і 17.

Технічні засоби вимірювання всмоктуючого тиску ґрунту у складі системи контролю реалізовані на основі тензіометрів з автоматичною дозправкою [2].

Мікропроцесорний регулятор 18 за допомогою запірного органу 3 встановлює необхідне значення рівня ґрунтових вод (РГВ), розраховане нейрорегулятором, що реалізований на базі автоматизованого робочого місця (АРМ) оператора [4]. АРМ зв'язаний із мікропроцесорним блоком гідрорегулятора за допомогою безпроводного інтерфейсу.

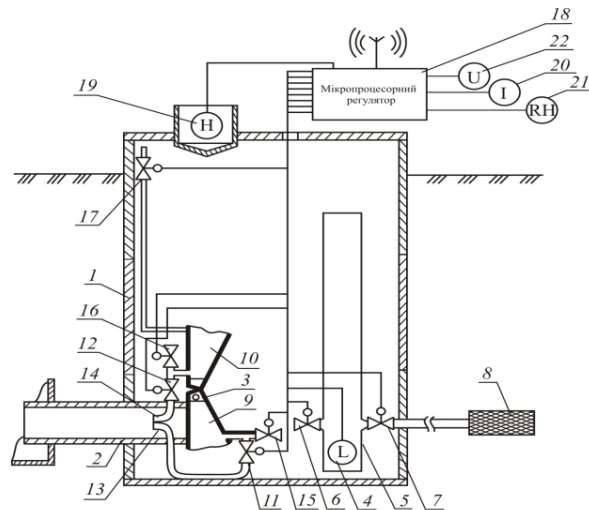


Рисунок 1 – Гідрорегулятор рівня ґрунтових вод двосторонньої дії: 1 – регулюючий колодязь; 2 – колектор; 3 – запірний орган; 4 – датчик рівня; 5 – труба; 6, 7, 11, 12, 15, 16, 17 – електромагнітні клапани; 8 – труба з фільтром; 9, 10 – камери; 13, 14 – трубки; 18 – мікропроцесорний блок; 19 – датчик кількості опадів; 20 – датчик температури; 21 – датчик вологості повітря; 22 – датчик швидкості вітру.

Вхідними параметрами нейрорегулятора є кількість опадів, дефіцит вологості повітря, всмоктуючий тиск (вологість) у визначеному шарі ґрунту; вихідним параметром є заданий РГВ від світлової поверхні, який необхідно встановити на наступний розрахунковий період. Також розроблене програмне забезпечення (ПЗ) для АРМ дозволяє відображати значення усіх технологічних параметрів (вологість або всмоктуючий тиск ґрунту, РГВ, дані метеопараметрів) у числовому вигляді та на графіках у реальному часі; змінювати режим роботи системи керування (автоматичний-ручний); вести централізовану базу даних параметрів процесу; моделювати зміну всмоктуючого тиску ґрунту в залежності від попередньої та поточної вологості ґрунту, РГВ, даних короткотермінового метеопрогнозу за допомогою нейромережі; зчитувати дані метеопрогнозу; при необхідності вводити значення технологічних параметрів вручну (за відсутності якогось із давачів).

Дане ПЗ є універсальним і може використовуватися для різних ОЗС з підґрунтовим зволоженням. Для цього необхідно лише перенавчити нейрорегулятор, що розраховує завдання по РГВ, на нових дослідних даних. У ПЗ АРМ оператора реалізовано також функцію передачі даних про хід технологічного процесу в Інтернет мережу в реальному режимі часу з можливістю відображення даних не тільки на комп'ютерах, але й планшетах і смартфонах. Для цього використано технологію WebSocket. Даний протокол забезпечує двонаправлений повнодуплексний канал зв'язку. WebSocket спроектовано для використання у веб-браузерах та веб-серверах, але може також використовуватись будь-яким клієнт-серверним додатком.

### Література

1. Патент на корисну модель 03637 Україна, G05D 22/00. Регулятор вологості кореневого шару ґрунту. Пастушенко В. Й., Матус С. К., Стеценко А. М. Україна. № 26737. 10.10.2007. Бюл. № 16.
2. Патент на корисну модель 00073 Україна, 7 G01N 33/24. Тензіометр з автоматичною дозаправкою. Пастушенко В. Й., Матус С. К., Червінко В. П. Україна. № 8038. 15.07.2005. Бюл. № 7.
3. Пастушенко В. Й., Матус С. К., Шатний С. В. Технічні засоби дистанційного моніторингу на керованих модулях осушувально-зволожувальних систем. Вісник інженерної академії України. 2012. Київ. Вип. № 1. С. 87—91.
4. Пастушенко В. Й., Стеценко А. М. Розробка та моделювання автоматизованої системи керування вологістю ґрунту з використанням інтелектуальних алгоритмів. Автоматика-2014: Матеріали 21-ї Міжнародної конференції з автоматичного управління. Київ. Вид-во НТУУ «КПІ». ВПІ ВПК «Політехніка». 2014. С. 108—109.

## ПІДТРИМКА ФУНКЦІОНУВАННЯ КОГЕНЕРАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ НА ПЕЛЕТНОМУ ПАЛИВІ

**Анотація.** Запропоновано підтримку функціонування когенераційної системи при вимірюванні температури газів та температури зворотної води на вході в теплообмінник другого контуру підігріву місцевої води. Прийняття рішень на зміну кількості пластин теплообмінника надає можливість підтримувати співвідношення виробництва електричної енергії та теплоти при використанні зміни частоти обертання електродвигуна повітряного вентилятора щодо зміни витрати повітря, що подається на підігрів, для сушки деревини. Такий підхід дозволяє, наприклад, в умовах функціонування когенераційної системи потужністю 115 кВт знизити собівартість виробленої енергії до 20–30%.

**Ключові слова:** когенераційна установка, пелетне паливо, прийняття рішень.

Реалізація виробленої енергії за “зеленим тарифом” надає додатковий імпульс щодо удосконалення систем підтримки функціонування когенераційних систем [1–3]. Запропонована технологія функціонування сушильної установки у складі когенераційної системи щодо виробництва пелетного палива [3]. Використання інтегрованої системи оцінки зміни вологовмісту повітря в сушильній камері, здобутої на основі математичного та логічного моделювання у складі когенераційної системи, надає можливість виконувати зміну витрати повітря, що подається на підігрів, на основі зміни частоти обертання електродвигуна повітряного вентилятора та забезпечувати своєчасну подачу висушеної деревини та завантаження свіжого матеріалу. У зв’язку із зміною споживання електричної енергії на сушку деревини необхідно виконувати підтримку температури місцевої води у якості теплоносія, що гріє, для підігріву повітря щодо підтримки співвідношення виробництва електричної енергії та теплоти.

**Мета роботи.** Розробити структурну схему підтримки функціонування когенераційної системи щодо прийняття рішень на підтримку температури місцевої води, що подається на підігрів повітря, в умовах зміни споживання електричної енергії на сушку деревини.

**Основна частина роботи.** Запропонована архітектура експертної когенераційної системи, основою якої є інтегрована динамічна підсистема – (когенераційна установка, теплообмінник другого контуру підігріву місцевої води, сушильна установка, теплообмінник підігріву повітря, повітряний вентилятор) та блоки, заряду, розряду, оцінки функціональної ефективності, що знаходяться в узгодженій взаємодії з динамічною підсистемою. Основою для підтримки температури місцевої води щодо здобуття як гранично припустимої, так і функціональної інформації є математична модель динаміки теплообмінника другого контуру підігріву місцевої води, що оцінює зміну температури води як у часі, так і вздовж просторової координати осі теплообмінника, що співпадає з напрямком потоку руху середовища [3]. Встановлено наступні рівні функціонування когенераційної системи відповідно до зміни температури газів на вході в теплообмінник: перший рівень: 140°C– 65°C; другий рівень: 130°C– 65°C; третій рівень: 120°C– 65°C. Встановлені рівні функціонування при температурі газів на виході із теплообмінника – 65°C відповідають зміні поверхні теплообміну теплообмінника щодо зміни кількості пластин: 36, 44, 52 та зміні витрати газів: 0,69 кг/с, 0,79 кг/с, 0,94 кг/с, відповідно. На основі метода графа причинно-наслідкових зв’язків розроблено логічну модель контролю працездатності теплообмінника другого контуру підігріву місцевої води щодо здобуття підсумкової інформації [3]. При безперервному вимірюванні температури газів на вході в теплообмінник підігріву місцевої води, що порівнюються з еталонним значенням рівня функціонування, з використанням логічної структури в межах циклу запропоновано виконувати включення чи відключення пластин теплообмінника щодо підтримки температури місцевої води на основі здобутої інформаційної оцінки (1), (2), відповідно (рис. 1). Здобуття ж



підсумкової інформації (3) при температурі газів на вході в теплообмінник – 120 °С, а температурі зворотної води – 55 °С свідчить про завершення процесу сушки деревини та надає можливість з використанням інформаційної оцінки (4) входження в допуск першого рівня функціонування когенераційної системи щодо зміни кількості пластин теплообмінника з 52 до 36 для підтримки підігріву повітря щодо сушки завантаженої свіжої деревини.

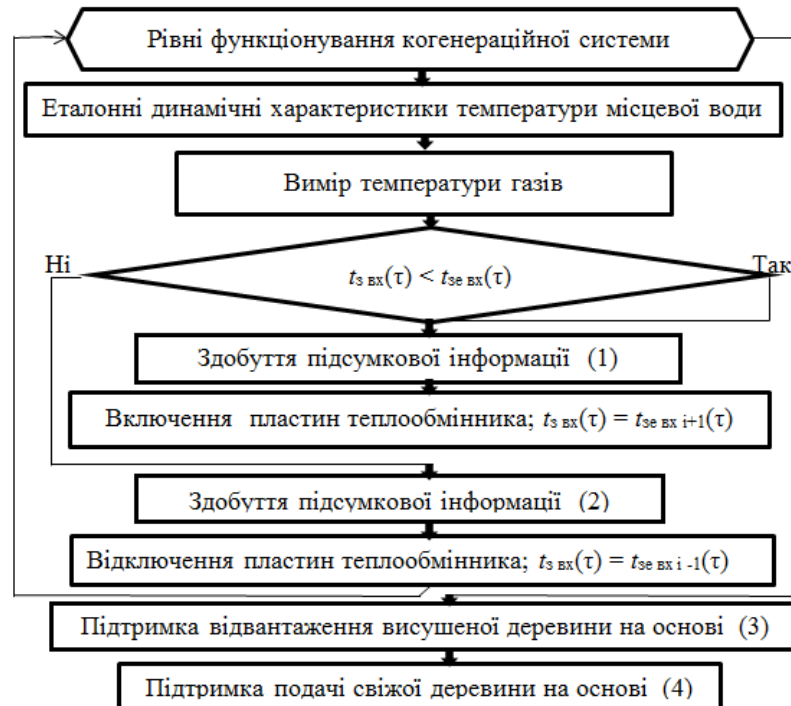


Рисунок 1 – Структурна схема підтримки температури місцевої води на рівні прийняття рішень

$$\begin{aligned}
 & (CT_c(\tau)(\Delta t(\tau) / \Delta t_{c.p.верх.}(\tau) < \Delta t_{розр.рів.}(\tau) / \Delta t_{c.p.верх.}(\tau) < 1). \Delta t_{розр.рів.}(\tau) / \Delta t_{c.p.верх.}(\tau) > 0)). \\
 & (CT_c(\tau)(\Delta t(\tau) / \Delta t_{c.p.верх.}(\tau) \geq 1)). (CT_c(\tau)(\Delta t(\tau) / \Delta t_{c.p.верх.}(\tau) \geq 1)).
 \end{aligned}$$

де:  $t_{з вх}$ ,  $t_{зе вх}$  – функціональна та еталонна температура газів на вході в теплообмінник підігріву місцевої води, К;  $i$  – число рівнів функціонування;  $\tau$  – час, с;  $CT$  – контроль події;  $t$  – температура місцевої води, К; Індекси: с – контроль працездатності; с.р.верх. – статне розрахункове значення параметра першого рівня функціонування; розр.рів. – розрахункове значення параметра рівня функціонування.

**Висновки.** Підтримка співвідношення виробництва електричної енергії та теплоти в умовах функціонування когенераційної системи, наприклад, номінальною потужністю 115 кВт при виробництві 5,8 тис. т пелет з деревини в рік надає можливість знизити собівартість виробництва енергії в межах 20%–30%.

### Література

1. Гелетуца Г. Г., Железная Т. А., Кучерук П. П., Олейник Е. Н., Трибой А. В. Биоэнергетика в Украине: современное состояние и перспективы развития. Часть 2. Промышленная теплотехника. 2015. Т. 37. № 3. С. 65—73. ISSN 0204-3602.
2. Чайковська Є. Є. Розробка енергозберігаючої технології функціонування біогазової установки у складі когенераційної системи. Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2015. № 3. С. 47—53. doi: 10.15587/1729-4061.2015.44252.
3. Чайковська Є. Є. Development of energy-saving technology maintaining the functioning of a drying plant as a part of the cogeneration system. Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2016. Т. 3. № 8 (81). С. 42—46. ISSN 1729-3774. doi: 10.15587/1729-4061.2016.72540.



Мякухин Ю. В., аспирант,  
 Национальный технический университет Украины  
 «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»  
 Розоринов Г. Н., доктор технических наук, профессор,  
 Национальный технический университет Украины  
 «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»  
 Толюпа С. В., доктор технических наук, профессор,  
 Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко

## ОЦЕНКА ЖИВУЧЕСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ И ОБЪЕКТОВ КРИТИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

**Аннотация.** Рассмотрена проблема оценки живучести (эффективности) функционирования информационных систем и радиоэлектронных комплексов. Предложен математический метод оценки живучести технических систем. Метод определяет доли изменений текущих значений технических характеристик исследуемого объекта во время реализации угрозы.

**Ключевые слова:** математический метод, оценка живучести, угроза, информационная система, особо важный объект, критическая инфраструктура.

Надежное функционирование информационных систем, критических по инфраструктуре объектов (объекты связи и телекоммуникации, объекты энергетики и т.д.) во время проявлений внештатных ситуаций (реализация кибератак, несанкционированный доступ и проникновение к информации и самим объектам, чрезвычайные ситуации) является актуальной проблемой современного мирового сообщества. Для предотвращения негативных последствий от указанных угроз целесообразно предварительно проводить прогнозирование работоспособности рассматриваемых объектов с учетом воздействия угроз. А это напрямую связано с оценкой живучести функционирования объектов.

Оценке живучести технических систем посвящено много работ. В них предлагаются оригинальные методики и математические приемы количественной оценки живучести сложных систем. В этих работах по-разному учитывается влияние угроз на сложную систему.

При оценке живучести любой технической системы необходимо количественно оценивать влияние рассматриваемых угроз на изменения ее текущих числовых показателей (критериев) эффективности. Получение адекватной оценки живучести является трудоемкой научно-технической задачей.

Цель данной работы является количественная оценка влияния угрозы на учитываемые текущие значения технических характеристик исследуемого технического объекта.

В дальнейшем предполагается, что угроза имеет конечное число свойств (атрибутов), значения которых известны или могут быть аналитически рассчитаны:

$$\overrightarrow{thuntech}(tech_m^{norm}) = \left\| A(\|a_n^{th m}\|) * \left( \overrightarrow{threat}(tr_n^{norm}) \otimes \overrightarrow{ves}(a_n^{norm}) \right)^T \right\|,$$

где:  $\{n, m\} \in \{n = \overline{1, N}, m = \overline{1, M}\}$ ;  $tr_n^{norm}$  – нормированное значение  $n$ -го атрибута (свойства) рассматриваемой угрозы;  $N$  – число рассматриваемых атрибутов, которыми обладает угроза  $threat$ ;  $a_n^{norm}$  – нормированная значимость  $n$ -го атрибута рассматриваемой угрозы  $threat$ ; знак  $\otimes$  – декартово произведение;  $M$  – число рассматриваемых технических характеристик в информационной системе;  $m$  – номер рассматриваемой технической характеристики;  $\| \|$  – оператор нормирования элементов вектора или элементов матрицы;  $a_n^{tr m}$  – значимости влияния  $n$ -го атрибута угрозы  $threat$  на  $m$ -ю техническую характеристику информационной системы;  $tech_m^{norm}$  – нормированное значение влияния угрозы  $threat$  на техническую  $m$ -ю характеристику.

В данной работе также решена задача живучести при условии, когда на техническую систему воздействуют несколько угроз, с соответствующими свойствами (атрибутами).

Таким образом, рассчитывая количественно влияние рассматриваемой угрозы на текущие значения рассматриваемых технических характеристик функционирования информационной системы можно численно определить ее живучесть. При этом можно количественно оценивать живучесть информационных систем через количественную величину, которая характеризует коэффициент сохранения эффективности техники. Такая ранее апробированная функция расчета живучести приведена в [1].

Предложенный математический метод по учету влияния угрозы на информационную систему предлагается применять и для задач, связанных с оценкой эффективности (живучести) функционирования автоматизированного комплекса технических средств охраны для особо важных (критических по инфраструктуре) объектов индустрии.

#### **Литература**

1. Бурячок В. Л., Мякухін Ю. В., Наконечний В. С., Розорінов Г. М. Оцінка живучості інформаційних систем при впливі кібератак на основі коефіцієнта збереження ефективності техніки. Перспективні напрями захисту інформації: Зб. тез другій всеукраїнської науково-практичної конференції. м. Одеса. 3-7 вересня 2016 року. ОНАЗ. 2017. С. 9—10.

Шевченко С. В., кандидат технических наук, профессор,  
Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»  
Годлевский М. Д., доктор технических наук, профессор,  
Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»

## О СОГЛАСОВАНИИ ЗАДАЧ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ЭНЕРГОСИСТЕМАХ

**Аннотация.** Рассматриваются вопросы формирования решений задач управления в системе SmartGrid. Определяются критерии и условия решения задачи, позволяющие сформировать последовательность управляющих решений для изменения текущего состояния энергоблоков в составе энергосистемы в соответствии с выбранными критериями оптимальности и условиями функционирования.

**Ключевые слова:** интеллектуальные энергосистемы, управление, решения, оптимальность, согласование.

Эффективность современной электроэнергосистемы все больше определяется поддержкой функций интеллектуального управления (SmartGrid), применяемых на разных уровнях и выполненных как в виде средств автоматики, так и в виде программных решений в составе комплексных систем автоматизированного управления на разных этапах производства электроэнергии, ее передачи, распределения и потребления [1, 2].

Интеллектуальность управления в системах SmartGrid обычно связывается с возможностью оперативного формирования управляющих воздействий, определяемых внешними факторами, состоянием компонент и системы в целом, режимами работы, обеспечивающих непрерывное производство и поставку электроэнергии потребителям в требуемых объемах в соответствии с динамически изменяющимся спросом.

Основной производственной подсистемой, произведенные продукты которой используются для удовлетворения спроса, является подсистема генерации электроэнергии. Деятельность остальных производственных подсистем направлена на обеспечение деятельности основного производства и поддержку процессов доставки электроэнергии конечным потребителям.

Таким образом, основной задачей управления в электроэнергосистеме можно считать задачу формирования планов производства электроэнергии и необходимых управляющих воздействий в соответствии со значениями динамически изменяющегося уровня потребления с учетом состояния системы и подсистем в целом, а также ряда внешних факторов, влияющих на производственные процессы и процессы управления (например, поставки топлива для ТЭС и ТЭЦ).

В настоящее время для решения данной задачи используются автоматизированные системы диспетчерского управления (АСДУ) разных уровней. Однако важность и оперативность принимаемых решений, требование их адекватности текущим обстоятельствам, динамический характер изменений исходных данных, а также наличие ряда общих и частных критериев для системы и ее подсистем снижают эффективность принимаемых решений в составе АСДУ. Значение данного обстоятельства значительно усиливается для объединений электроэнергосистем, примером которой может быть Объединенная электроэнергосистема страны.

В связи с принятой концепцией управления в электроэнергетике на основе рыночных отношений в сфере производства, поставок, распределения и потребления электроэнергии, на основе механизмов балансирующего рынка, рынка «на сутки вперед» и рынка долгосрочных двухсторонних договоров в начале основные мощности электроэнергокомпаний задействуются в составе долгосрочных обязательств, а оперативное планирование реализуется по остаткам мощностей в составе договоров «на сутки вперед» и договоров балансирующего рынка.

Решение рассматриваемой задачи в данной постановке может быть реализовано с использованием оптимизационных моделей. Для оптимизации принимаемых решений может применяться соответствующий ППП, например, WB 7.0 или WB 13.0. Однако применение данных пакетов для задач практической размерности может привести к неактуальным решениям из-за потери оперативности.

В работе для решения рассматриваемой задачи предлагается алгоритм, построенный на основе формирования дерева решений, представляющий искомые варианты для анализа. Отличительной особенностью предлагаемого подхода является получение эффективной процедуры отсечений заведомо неоптимальных решений на основе проверки ряда условий. Пример результатов условного формирования плана производства электроэнергии для энергоблоков «на сутки вперед» с учетом динамики изменения состояний приведен на рис. 1.

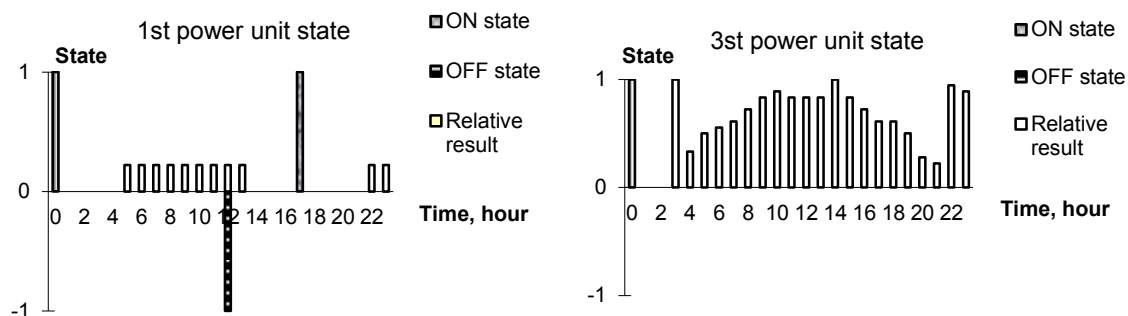


Рисунок 1 – Изменения состояний энергоблоков

Целесообразность пуска и останова энергоблока определяется уровнем потребления, плановыми показателями, состоянием энергоблока, стоимостями выполнения операции и генерации. Согласование получаемых решений в различных энергосистемах обеспечивается динамическим распределением значений генерации в соответствии с показателями эффективности, учетом изменений внешних условий, состояния системы и режимов функционирования.

Предлагаемые модели и алгоритмы, обеспечивают согласование решений задач управления в отдельных энергосистемах на основе методов системной оптимизации и оптимального управления, используемые при формировании искомых решений для Объединенной электроэнергосистемы и ее взаимодействия с соседними энергосистемами. Предлагаемые подходы могут быть использованы в составе интеллектуальных информационных систем поддержки принятия решений в энергосистеме.

### Литература

1. SmartGrid. <http://greenevolution.ru/enc/wiki/smart-grid>.
2. Толшаков А. В. SmartGrid: развитие, практика проблемы. Энергонадзор. 2014. № 1. С. 53. № 2. С. 54.

## УРОВНИ ИНТЕЛЛЕКТА В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

**Аннотация.** Возможности интеллектуальных систем зависят от того, какие задачи могут решать эти системы. А решение задач определяется уровнем интеллекта, заложенного в эти системы. Определены и рассмотрены интеллекты, сила которых последовательно возрастает. Сформулирована проблема определения дальнейших уровней интеллекта и их связи между собой.

**Ключевые слова:** интеллект, интеллектуальные системы, уровни интеллекта, моделирование, спецификация модели.

В *общей проблеме* построения интеллектуальных систем важными остаются вопросы: что нужно понимать под интеллектом, какие свойства добавляет интеллектуальность к общей характеристике системы, бывают ли различные виды интеллекта и, соответственно, различные интеллектуальные системы (ИС)? От решения этих *проблем* зависят методы и алгоритмы построения таких систем, также как и их возможности, определяемые классами тех или других задач в ситуациях, в которых находятся и действуют ИС.

*Интеллект* – это свойство высокоорганизованного субъекта, позволяющее ему моделировать предметную область (ПО) и на уровне построенной модели решать задачи, относящиеся к этой области. Интеллект имеет различную сложность и существует в различных формах, описанных по степеням (уровням). Каждый уровень определяется разными действиями, включающими последовательно усложняющиеся формы интеллекта. [1]

*Спецификация модели* – множество выделенных элементов ПО, вместе со связывающими их отношениями (преобразованиями), заданное в пространстве представления модели. *Задача* в таком пространстве задается парой элементов этого пространства, а ее решение определяется как путь, соединяющий эти элементы. Иногда задачу можно рассматривать как заданную область пространства и ограничения, выделяющие в этой области ее часть, как ожидаемую область результата. [2]

*Интеллект нулевого уровня* (0-интеллект) – определен конечным набором алгоритмов, используемым для решения задач в заданной и неизменной модели ПО. Поставленная задача связывается с одним из этих алгоритмов. Для отождествления с этим уровнем необходимы знание каждого из алгоритмов, выбор существующего алгоритма и умение связать задачу с решающим ее алгоритмом, умение применить алгоритм к условию задачи, чтобы получить ее решение.

*Интеллект первого уровня* (1-интеллект) – это готовая модель ПО плюс методы обработки информации в ПО, позволяющие построить решение задачи как композицию из множества известных и заданных в среде (ПО) преобразований (отношений, алгоритмов). Алгоритмы решения любой задачи этим интеллектом строятся, конструируются из готовых и сохраненных составляющих.

*Интеллект полуторного уровня* (1,5-интеллект) – это расширение предыдущего 1-интеллекта за счет механизмов сохранения удачных композиций алгоритмов (обучение системы) вместе с классами задач, которые решаются этими алгоритмами в рассматриваемой модели ПО. Интеллект расширяется за счет накопления опыта решения задач, но модель ПО остается фиксированной.

*Интеллект второго уровня* (2-интеллект) – это качество субъекта, ориентированного на взаимодействие с изменяемой ПО. Модель ПО строится или модифицируется субъектом, с помощью исходно заданных или сформированных субъектом методов анализа и синтеза информации, получаемой субъектом через средства взаимодействия с ПО. Это позволяет субъекту виртуально концептуализировать ПО, организовывать, сохранять и модифицировать

полученное концептуальное представление (интеллектуальное отражение) как форму своего когнитивного опыта, который используется субъектом при организации его взаимодействия со средой. *Концептуализация* понимается как задание для среды ее спецификации на уровне отдельных элементов и связывающих их преобразований.

*Интеллект 2,2 уровня (2,2-интеллект)* – это пополнение 2-интеллекта путем включения в алгоритмы синтеза информации возможности введения в модель ПО гипотетических и мифологизированных представлений об объектах и связях между ними. Другими словами, предполагается существование в ПО элементов, которые не наблюдаются субъектом, но существованием которых может объяснить выполнение отдельных процессов в модели.

*Интеллект 2,5 уровня (2,5-интеллект)* – это пополнение 2,2-интеллекта за счет использования различных видов логики при формировании новых знаний о ПО. Эти средства позволяют менять процесс моделирования ПО. Они допускают работу с неполной информацией, внедрение нечетких и вероятностных рассуждений в логические построения и оценки. Возможно построение различных моделей для одной и той же ПО, оперирование с различными оценками и интерпретациями событий и ситуаций в ПО.

*Интеллект третьего уровня (3-интеллект)* связан с решением задач в ПО, которая состоит из разных миров (многомировое пространство). В каждом мире задаются свои условия и своя спецификация, своя логика. Но миры связаны между собой. Задача решается в одном реальном мире, а для ее решения используется информация из разных миров, связанных с реальным миром. 3-интеллект решает задачу, используя ее частичные решения, полученные в разных мирах.

Реализация 3-интеллекта может рассматриваться в сети отдельных субъектов, каждый из которых обладает 2,5-интеллектом. Эти субъекты связаны между собой *транссвязями* (вычислимыми связями), которые при передаче информации между субъектами предполагают возможность одновременного преобразования этой информации из формата элемента ее образования в формат того элемента сети, которому эта информация передается. Такая сеть называется *транссетью*. Она может быть использована и для определения последующих уровней интеллекта.

*Интеллект четвертого уровня (4-интеллект)* определяется не только спецификацией реального мира, но его математической структурой (топологией, геометрией, алгебраическими конструкциями, размерностью пространств). Решая задачу, интеллект может выбирать и перестраивать структуру основного пространства, логику рассуждений в нем, а уже затем выбирать способ моделирования этого мира и поиска возможных решений в нем тех задач, которые необходимо решать, используя 4-интеллект.

*Интеллект пятого уровня (5-интеллект)* определяется как свойство субъекта, позволяющее ему решать задачи в многомировом пространстве, причем разные миры (предметные области) могут иметь свои собственные математические структуры, свои логики рассуждений. Этот интеллект позволяет объединять различные решения между собой, пополняя модели различных ПО новыми подходами к их представлению, заимствованными из других ПО.

*Интеллект 5,5 уровня (5,5-интеллект)* определяется возможностью для транссети объектов, обладающих 5-интеллектом, во время решения задач динамически создавать и использовать в транссети новые объекты, расширяя транссеть.

*Открытой проблемой* является дальнейшее исследование последующих возможных уровней интеллекта, формирование их границ и направлений последующих расширений представления об интеллекте, получение более сильных интеллектов.

## Литература

1. Мейтус В. Ю. Введение в теорию интеллектуальных систем. Основные представления. Palmarium academic publishing. Саарбрюкен. 2015. 189 с. ISBN 978-3-659-60297-9.
2. Мейтус В. Ю. Рівні інтелекту в інтелектуальних системах. Наукові записки, комп'ютерні науки. НУ «Києво-Могилянська академія». 2016. (в печати).

Маковецька С. В., аспірант, Національний університет харчових технологій  
М'якшило О. М., кандидат технічних наук, доцент,  
Національний університет харчових технологій

## МОДЕЛЮВАННЯ БІЗНЕС-ПРОЦЕСІВ ОРГАНІЗАЦІЇ ТА УПРАВЛІННЯ ПОСТАВКИ СИРОВИНИ НА ЦУКРОВИЙ ЗАВОД

**Анотація.** Проведено функціональне моделювання бізнес-процесів організації та управління постачання сировини на цукровий завод, що дало змогу проаналізувати предметну область та виявити важливу задачу формування ефективного розкладу з конкретних сировинних зон для забезпечення безперервного, ритмічного виробничого процесу з мінімальними втратами для кожної партії коренеплодів.

**Ключові слова:** постачання сировини, CASE-засіб, функціональна модель.

Отримання якісно-кількісних показників при виготовленні цукру залежать від ефективної організації виробництва, що починається від планування посівів цукрових буряків на сировинних зонах до отримання готового продукту. Діяльність даного процесу включає виконання функцій та операцій, що тісно взаємопов'язані та впливають одна на одну. Під час проектування, розробки, обслуговування чи керуванні роботою таких систем виникають складні проблеми, які пов'язані з нерозумінням протікання бізнес-процесів.

Побудова найбільш ефективної моделі бізнес-процесів постачання коренеплодів на цукровий завод з конкретних сировинних зон відобразить опис логічних взаємозв'язків, забезпечить відображення поточних та передбачених майбутніх проблем даного процесу. Проведення аналізу побудованої функціональної моделі бізнес-процесів виявить «вузькі» місця, що впливають на техніко-економічні показники виробництва цукру.

Управління та організація забезпечення сировиною цукровий завод є підмножиною загальної ієрархії системи управління заводу в цілому та тісно пов'язана з іншими підрозділами. Для концентрації уваги на системі управління заготівлі сировиною встановлено границі моделі – від проведення передзбиральних досліджень коренеплодів на сировинних зонах цукрового заводу до визначення фізико-хімічних властивостей цукрових буряків, які надходять у виробництво після зберігання.

При функціональному моделюванні систему управління та організації поставки сировини на цукровий завод представлено як сукупність взаємодіючих бізнес-процесів і зв'язків між ними.

Для моделювання даної системи управління обрано CASE-засіб Erwin Process Modeler, що підтримує процеси аналізу і формування вимог до складних систем різного призначення, створення і супроводження інформаційних систем [1].

Функціональна модель управління та організація забезпечення сировиною цукровий завод складається з ієрархічно організованого комплексу діаграм, що представлені з необхідним ступенем деталізації функції системи, з використанням методології структурного аналізу IDEF0 (Integration Definition for Function Modeling). Така функціональна орієнтація є принциповою – функції системи аналізуються незалежно від об'єктів, якими вони оперують. Це дозволяє більш чітко змоделювати логіку та взаємодію процесів системи управління [2].

Побудова моделі починається з контекстної діаграми, що розташована на вершині деревовидної структури діаграм та представляє собою загальний опис головного бізнес-процесу «Організації та управлінні забезпеченні сировиною цукрового заводу» й взаємодію його із зовнішнім середовищем.

Для деталізації та дослідження головного бізнес-процесу проводиться розбиття на складові, що представляє собою діаграму декомпозиції першого рівня, на якій відображені наступні бізнес-процеси: «Проведення дослідження коренеплодів на сировинних зонах», «Планування збору та доставку коренеплодів з сировинних зон», «Прийом цукрових буряків та

їх складування», «Формування звітної документації та аналіз надходження». Між окремими функціональними блоками встановлюються зв'язки, що відповідають логіці послідовності виконання бізнес-процесів та відображають інформаційно-матеріальні потоки.

Для більш детального дослідження та аналізу даної предметної області використано методологію DFD (Data flow diagrams), що дозволяє більш ефективно і наочно описати процес перетворення інформаційних потоків при їх отриманні з джерел інформації, які представлені паперовою документацією та записами у базі даних інформаційних систем підприємства. Даний підхід дозволяє продемонструвати процес перетворення вхідних потоків даних у вихідні при певній послідовності виконання бізнес-процесів декомпозиції «Проведення дослідження коренеплодів на сировинних зонах», а саме: «Визначення генетико-детермінованих властивостей посіву коренеплоду»; «Прогнозування виходу цукру до маси коренеплодів»; «Прогнозування витрат на зберігання та транспортування коренеплодів»; «Визначення коефіцієнта забрудненості коренеплодів»; «Прогнозування виробітку цукрози з 1 га посівів коренеплодів».

Для відображення та аналізу складування прийнятого цукрового буряка використано структурований метод IDEF3 (Workflow diagramming), що надає можливість в більшій мірі повно описати деталі процесу складування та кагатування коренеплодів. Використання блока асинхронного розгалуження з логічною операцією «або» («OR») дозволяє відобразити вибір розміщення цукрового буряку за одним із видів зберігання, що надає можливість повністю охопити усі тонкості даного процесу.

Побудована функціональна модель організації та виконання оперативного управління постачання сировини на цукровий завод для забезпечення єдності та узгодженості дала змогу проаналізувати технологічні та виробничо-господарські бізнес-процеси даної предметної області в повному обсязі з врахуванням «вузьких» місць, що мають прямий вплив на показники ефективності виробництва.

В процесі моделювання було виявлено основні задачі в організації оперативного управління для підтримки необхідних режимів роботи цукрового заводу, з яких доцільно виділити складання графіку збирання та надходження коренеплодів цукрового буряка із сировинних зон з урахуванням їх генетико-детермінованих властивостей для підвищення ефективності переробки, охоплюючи весь період від етапу збирання до кінця переробки.

### Література

1. Маклаков С. Создание информационных систем с AllFusion Modeling Suite. Москва. Диалог-МИФИ. 2003. 432.
2. Титова Е., Вейнберг Р. Моделирование бизнес-процессов с помощью инструментальных методов. Логистика. 2011. № 5. С. 17—20.



Власенко Л. О., кандидат технічних наук, доцент, Національний університет харчових технологій

## ВАРІАНТИ ОЦІНКИ СТАНІВ ОБ'ЄКТА НА ОСНОВІ ЗАСТОСУВАННЯ РІЗНИХ ВИДІВ КОНТРОЛЬНИХ КАРТ

**Анотація.** Розглядаються варіанти використання різних видів контрольних карт при проведенні оцінки стану технологічних об'єктів, що безпосередньо впливає на ефективність функціонування системи. Для підвищення якості оцінювання пропонується використати методи статистичного аналізу та керування програмного пакету STATISTICA.

**Ключові слова:** діагностика, статистичний аналіз, статистичне керування, контрольні карти.

При розробці сучасної ефективної системи керування або вдосконаленні вже існуючої, одне з провідних місць посідає точна оцінка станів об'єкта. Особливі вимоги при цьому пред'являються до якості і швидкості проведення ідентифікації стану технологічного об'єкта (ТО), оскільки це напряму впливає на якість регулювання і вчасне виявлення можливих неполадок в його роботі з метою введення коректних коригуючих впливів [1]. Використання сучасних методів статистичного аналізу та керування [2] забезпечує вчасну та вірну реакцію системи на поточну ситуацію.

В роботі розглядаються статистичні методи оцінки станів ТО, що є основою для якісного прогнозування можливих сценаріїв розвитку системи та введення вчасних коригувальних впливів за допомогою використання програмного комплексу STATISTICA.

На сьогодні поширеними методами статистичного аналізу, що використовуються для оцінки стану ТО та/або технологічного процесу є використання різних видів контрольних карт. До переваг їх використання відноситься можливість застосування їх в реальному часі, точний аналіз стану об'єкта, створення моделі ТО на основі значень поточних технологічних даних, ефективна робота по аналізу функціонування як періодичних, так і неперервних ТО, виявлення можливості появи розлагодження технологічного процесу на ранніх стадіях, аналіз одно- та багатопараметричних процесів, корельованих та незалежних технологічних змінних. До недоліків належать: необхідність правильного визначення розміру вибірки, по якій будуть проводитися поточні оцінки; вибір типу контрольної карти, що максимально відповідатиме вимогам щодо точності оцінювання та отримання адекватних висновків відносно керованості та стабільності проходження технологічного процесу або появи ознак його розлагодження; врахування, що встановлені на контрольних картах межі не співпадають з границями, які передбачені технологічним регламентом, а встановлюються за допомогою простих статистичних розрахунків на основі спостережень за перебігом процесу. Можливості програмного пакета STATISTICA сприяють ефективному впровадженню сучасних методів статистичного аналізу та керування на реальних технологічних об'єктах.

Використання статистичних методів при аналізі роботи ТО, зокрема різних видів контрольних карт, покращує якість ідентифікації його стану, що підвищує ефективність керування, попереджає появу непередбачених ситуацій, зменшує час реагування на усунення проблемних випадків. При використанні даних підходів слід ретельно проводити всі підготовчі роботи перед їх впровадженням, оскільки це суттєво впливає на якість і достовірність отриманих результатів.

### Література

1. Ладанюк А. П., Заєць Н. А., Власенко Л. О. Сучасні технології конструювання систем автоматизації складних об'єктів (мережеві структури, адаптація, діагностика та прогнозування): монографія. Київ. Видавництво «Ліра-К». 2016. 312 с.
2. Власенко Л. О., Ладанюк А. П. Контрольні карти в статистичних методах аналізу та синтезу автоматичних систем регулювання. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. 2016. № 256. С. 61—68.

Бородін В. І., Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
Ярошук Л. Д., кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

## КЕРУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРНИМ РЕЖИМОМ КОЛОНИ СИНТЕЗУ АМІАКУ НА ОСНОВІ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ

**Анотація.** Розглянуто спосіб керування температурним режимом колони синтезу аміаку, який передбачає використання нечіткої логіки для визначення необхідних температур в околі каталізаторів. Дозволяє адаптувати температурний режим до зміни впливів внутрішніх та зовнішніх збурень на перебіг хімічних та теплообмінних процесів у колоні синтезу. Нечіткі регулятори враховують інформацію про поточні значення температур і тисків в околі каталізаторів та про концентрації аміаку в потоках газів на вході і виході колони.

**Ключові слова:** аміак, реактор, колона синтезу аміаку, температурний режим, система автоматичного керування, нечітка логіка.

Виробництво аміаку можна вважати дуже важливим завдяки тому, що цей продукт широко застосовують у різних галузях життєдіяльності людей. На різних етапах виробництва використовують реактори, керування якими з огляду на складність і важливість процесів отримання нових речовин, є актуальною задачею.

Автори розглядають один з таких реакторів – колону синтезу аміаку. Враховуючи існуючі відмінності між побудовою реакторів, до розгляду була прийнята колона синтезу з поличною формою каталізаторів. Було враховано, що це технологічний об'єкт, у якому відбуваються теплові, масообмінні та хімічні процеси.

Контроль за перебігом процесів зараз слід вважати незадовільним, тому при формуванні керувальних впливів не враховують суттєві збурення, зокрема властивості азотно-водневої суміші на вході колони (АВС) та шарів каталізаторів, а також перехресні зв'язки між технологічними змінними. До того ж температурний режим у колоні як правило вважають сталим.

Задачею роботи є створення такої системи автоматизації процесом синтезу аміаку у колоні синтезу, яка б дозволила корегувати температурний режим газової фази у цьому реакторі при зазвичай відомих даних про концентрації аміаку в газах на вході та виході колони, тисках та температурах над полицками каталізаторів.

В умовах виробництва процес керування багато в чому залежить від дій операторів-технологів, від їхніх професійних знань і досвіду. Для автоматичного керування температурним режимом у колоні синтезу були вибрані положення нечітких множин і логіки (*fuzzy logic*). Математичний апарат нечітких систем керування формують на підставі експертних оцінок. Продукційні правила *fuzzy logic* відповідають стилю мислення людини, що значно спрощує керування саме складними технологічними об'єктами [1].

В основу способу покладено керування температурним режимом колони синтезу аміаку з трьома полицками, який передбачає регулювання температур в околі каталізаторів за допомогою ПІ – регуляторів і корегування завдань для них за допомогою нечітких регуляторів. Керувальними впливами є витрати газових потоків АВС через байпаси.

Кожний нечіткий регулятор загальної системи керування виконує фазифікацію інформації від вимірювальних пристроїв, використовує базу нечітких правил та виконує дефазифікацію для розрахунку чіткого (одного) завдання для кожного з ПІ – регуляторів. Функції належності і правила продукції отримані на підставі досвіду експертів.

Запропоновано неперервно вимірювати концентрації аміаку в азотно-водневій суміші на вході колони,  $C_{NH_3}^{ex}$  і в циркуляційних газах на виході з неї,  $C_{NH_3}^{внх}$  та розраховувати

співвідношення  $Y = C_{NH_3}^{вх} / C_{NH_3}^{вих}$ . В околі кожного каталізатора (3 полицки: K1, K2, K3) передбачено вимірювати тиски та температури газів ( $P_i, T_i, i = 1 \dots 3$ ).

Значення температури, яку потрібно забезпечувати в околі першого каталізатора (K1), розраховують у нечіткому регуляторі за інформацією про  $Y, P_1, T_1$ .

При фазифікації інформацію від пристроїв  $Y, P_1, T_1$  розглядають як вхідні лінгвістичні змінні нечіткого регулятора НР1 «Співвідношення концентрацій», «Тиск K1», «Температура K1» відповідно.

Вихідний сигнал НР1 розглядають як лінгвістичну змінну «Завдання ПІ-регулятора (ПІ1)». У НР1 визначається значення температури, яку треба підтримувати в околі K1. Вихід НР1 подають разом з дійсним значенням  $T_1$  на вхід ПІ1, а керувальний сигнал з ПІ1 направляють на виконавчий механізм, що змінює витрату АВС через байпас перед K1.

Значення температури, яку потрібно забезпечувати в околі K2, розраховують у нечіткому регуляторі НР2 за інформацією від пристроїв  $P_2, T_2$  та  $T_1$ , останній характеризує температуру в околі K1. При фазифікації інформацію від пристроїв  $P_2, T_2$  та  $T_1$  розглядають як вхідні лінгвістичні змінні НР2 «Тиск K2», «Температура K2», «Температура K1» відповідно.

Вихідний сигнал НР2 розглядають як лінгвістичну змінну «Завдання ПІ-регулятора (ПІ2)».

У НР2 визначається значення температури, яку треба підтримувати в околі K2. Вихід НР2 подають разом з дійсним значенням  $T_2$  на вхід регулятора ПІ2, а керувальний сигнал з ПІ2 направляють на виконавчий механізм, який змінює витрату АВС через байпас перед K2.

Значення температури, яку потрібно забезпечувати в околі K3 колони, розраховують у нечіткому регуляторі НР3 за інформацією від пристроїв  $P_3, T_3$  та  $T_2$ , останній характеризує температуру в околі попереднього каталізатора K2.

При фазифікації інформацію про  $P_3, T_3$  та  $T_2$  розглядають як вхідні лінгвістичні змінні НР3 – «Тиск K3», «Температура K3» та «Температура K2» відповідно.

Вихідний сигнал НР3 розглядають як лінгвістичну змінну «Завдання ПІ-регулятора (ПІ3)».

Використовуючи правила продукції та дефазифікацію, у НР3 визначають значення температури, яку треба підтримувати в околі K3. Вихід НР3 подають разом з дійсним значенням  $T_3$  на вхід регулятора ПІ3, а керувальний сигнал з ПІ3 направляють на виконавчий механізм, який змінює витрату АВС через байпас перед K3.

Створення автоматизованої системи керування реакторами у виробництві аміаку з використанням сучасних промислових контролерів і робочих станцій дозволяє використати більш складні алгоритми керування, зокрема ті, що використовують методи штучного інтелекту. Враховуючи енергоємність кожного реактора, навіть незначне покращення режиму його роботи дозволить підвищити економічну ефективність підприємства в цілому.

Найбільш складним завданням для досягнення очікуваної переваги від нечітких систем керування і запропонованої зокрема є наповнення бази знань нечітких регуляторів. Воно передбачає проведення досліджень у двох напрямках: по-перше, отримання початкових експертних знань, які характеризують дійсно важливі властивості речовин і зв'язки між ними (це знаходить відображення у переліку лінгвістичних змінних, кількості термів, формах функцій належності та продукційних правилах), по-друге створення алгоритмів адаптації математичного апарату нечітких регуляторів до реальних умов перебігу процесів у реакторі.

## Література

1. Чупин А. В., Гончаров К. А., Антипов А. С. Совершенствование системы управления колонной синтеза аммиака на основе нечеткой логики. Вестник КузГТУ. 2005. №2. С. 71—72.

## **САМОРУХОМИЙ ПРИСТРІЙ ДЛЯ РЕВЕРСИВНОГО ПЕРЕМІЩЕННЯ В ТРУБОПРОВОДАХ**

**Анотація.** Роботизовані саморухоми пристрої є одними з найбільш важливих інноваційних засобів призначених для пересування в технологічних конструкціях й трубопроводах з метою здійснення неруйнівного контролю, а також для забезпечення експлуатаційних робіт на технологічних трубопроводах, в тому числі їх огляд, чистку, ремонт і т.п. Актуальною є задача створення мобільних енергоощадних пристроїв, простих за своєю конструкцією і системами керування та забезпечать доставку засобів збору інформації в зону можливих дефектів конструкцій зі здатністю рухатися автономно в горизонтальній та вертикальній трубі [1].

**Ключові слова:** мехатронний пристрій, біонічний прототип, поступово-кроковий рух, технічне обслуговування.

На сьогодні конструктивна складність та значна вартість відомих саморухомих роботизованих пристроїв, що переміщуються в трубопроводі ставлять задачу створення ефективних, простих та дешевих засобів для переміщення технологічного обладнання з системами автоматичного керування.

Метою роботи є розроблення роботизованого пристрою з розширенням функціональних можливостей по забезпеченню переміщення в непрямолінійних трубопроводах при наявності засобу для встановлення технологічного обладнання.

Пристрій для переміщення в трубопроводах складається з хвостових та носових фіксуєючих пневмокамер, поверх яких змонтовано пружну фрикційну оболонку для додаткового захисту пневмокамер, у кожній пневмокамері знаходиться по два електромагнітних золотникових розподільювачів та давачі тиску, а в хвостовій камері додатково встановлено впускний розподільювач, для переміщення пристрою по горизонталі використовується гнучка муфта, яка знаходиться у гофрованому корпусі і являє собою гнучку черв'ячну передачу, гнучка муфта обертається реверсивним двигуном постійного струму та вкручується в гайку, перетворюючи обертальний рух двигуна в реверсивний лінійний рух, для передачі крутного моменту валу двигуна використовується муфта, для визначення переміщення гнучкої муфти використовується енкодер. Платформа для доставки технологічного обладнання у зону дефектів технологічних трубопроводів розміщується спереду мехатронного пристрою. До платформи, яка містить отвори для закріплення технологічного обладнання кріпляться, наприклад, чотири колеса підпружинених та закріплених під кутом і рівновіддалених одні від одних по всьому радіусу для забезпечення стійкості при поворотах, шарніру зв'язаного з корпусом мехатронного пристрою та оптичного дефектоскопу (відеокамера з підсвіткою) закріпленого на носовій частині платформи.

Принцип роботи роботизованого пристрою для переміщення в трубопроводах з платформою для доставки технологічного обладнання полягає у наступному.

Для переміщень в початковому діапазоні трубопроводів внутрішнім діаметром, наприклад, 50-100 мм, використовується перша секція (внутрішня) багатосекційної камери.

При наступних переміщеннях, а саме в діапазоні трубопроводів внутрішнім діаметром, наприклад, 101-250 мм, використовується друга секція (зовнішня) багатосекційної пневмокамери. Якщо в початковий момент часу на камері ПЛК зчитує з давача тиску названий тиск в 6 атм., то електромагнітний золотниковий розподільювач перекидається і камера не буде використовуватись в подальших циклах роботи. Після надходження командуючого сигналу гнучка муфта починає обертатись реверсивним двигуном постійного струму та вкручується в

гайку. Для передачі крутного моменту валу двигуна використовується муфта. За допомогою енкодера визначається лінійне переміщення гнучкої муфти, а, отже, і всього пристрою. Після досягнення максимального куту вала двигуна, починає накачуватись камера. Після повного наповнення камери подається сигнал на електромагнітний золотниковий розподілювач і камера спускається. Після чого гнучка муфта викручується з гайки. У разі необхідності можна подати команду на зворотне переміщення, яке аналогічне описаному вище.

Використання розробленого технічного рішення дозволить створити роботизовані саморухомі пристрої для неруйнівного контролю технологічних конструкцій та трубопроводів.

#### **Література**

1. Avruka I. S. Direction of development mechatronic devices to move in pipelines. Technics. technology. education. safety. Veliko tarnovo. 2016. Issue 8(194). 100-101.

**Зозуля В. А.**, кандидат технічних наук, доцент,  
Центральноукраїнський національний технічний університет  
**Осадчий С. І.**, доктор технічних наук, професор,  
Центральноукраїнський національний технічний університет

## **АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ МЕХАНІЗМАМИ ПАРАЛЕЛЬНИХ СТРУКТУР**

**Анотація.** Наведено класифікацію механізмів паралельної кінематичної структури за видами виконуваних робіт. Це оброблювальні центри (верстати), координаційно-вимірвальні центри, вібраційні платформи (стенди для випробувань), тренажери і симулятори руху, стабілізаційна платформа. Наведено аналіз сучасних методів управління механізмом паралельної структури, як багатовимірним і нелінійним об'єктом.

**Ключові слова:** механізм паралельної структури, регулятор, стохастична.

Активне впровадження механізмів паралельної структури на основі платформи Стюарта (гексапод) у виробництво до недавнього часу стримував низький рівень обчислювальної техніки, що не дозволяв вирішувати завдання управління механізмами паралельної структури. Механізми паралельної структури здатні забезпечити досить високі динамічні характеристики при відносно невеликій металоємності. Однак це можливо тільки в результаті розвитку швидкодіючих систем автоматки. Дослідження механізмів паралельної структури даного класу мають велике значення і дуже актуально, важливою частиною даних досліджень є розробка керування рухом механізмів, виходячи із заданих вимог, що пред'являються до системи.

З наведеного огляду літератури щодо застосування механізмів паралельної структури в складі технологічного обладнання можна зробити висновок, що, об'єкти управління цього класу є багатовимірними і нелінійними, а їх рух відбувається в умовах спільної дії адитивної суміші векторів детермінованих і стаціонарних випадкових сигналів. Процес руху по траєкторії, як правило, супроводжується зміною динаміки об'єкта управління при впливі або відсутності зовнішніх сил.

Аналіз цілого ряду робіт, наприклад [1,2], дозволяє зробити висновок про те, що сучасні методи проектування оптимальних нелінійних систем управління гарантують успіх у двох випадках. Перший - виникає при дії тільки детермінованих корисних сигналів, збурень і перешкод в трактах управління [1], другий при дії тільки випадкових впливів [2]. При цьому загальні методи, використовувані для управління серійними роботами, можуть також використовуватися для механізмів паралельної структури. Як правило, всі методи використовують пряму або зворотню задачі динаміки в прямому або зворотному контурі регулювання. При цьому пряма задача динаміки паралельних маніпуляторів зазвичай є складним завданням, що вимагає вирішення низки складних нелінійних рівнянь, які можуть бути вирішені тільки чисельно в режимі реального часу. При управлінні за допомогою зворотню задачі динаміки, необхідно повна лінеаризація нелінійних динамічних членів в зворотному зв'язку. Щоб компенсувати цей недолік, в літературі [3] запропоновані два методи управління на основі робастного і адаптивного управління. У робастному підході, шляхом кількісного аналізу невизначеностей моделювання при різних конфігураціях, додається коригуючий член до виходу ПІД регулятора, щоб гарантувати асимптотическую стабільність помилки динаміки при наявності невизначеності моделювання і впливу, що збурює. В адаптивному підході оцінки матриць формули динаміки оновлюються таким чином, що різниця між істинними значеннями цих матриць і їх оцінками сходиться до нуля в режимі реального часу. Для реалізації цих методів необхідно визначити структуру і компоненти динамічних матриць, але також повинні бути ідентифіковані та відкалібровані всі кінематичні і інерційні параметри механізму паралельної структури. Це вимагає ретельного проектування

експериментів і високої точності обладнання калібрування, що може бути неможливим для деяких видів механізмів паралельної структури. Таким чином, різні джерела невизначеності, такі як немоделірована динаміка (неструктуровані невизначеності), помилки калібрування, невідомі збурення що спотворюють, і різні навантаження, можуть існувати і не описані в динамічній моделі механізму паралельної структури.

В роботі авторів [4] запропоновані метод і алгоритм синтезу оптимізованої (оптимальної) структур регулятора в розімкнутій системі стохастичного управління багатовимірним нелінійним об'єктом. Запропонований метод пропонує послідовність виконання операцій наближення до оптимальної системі шляхом порівняння характеристик векторів керування та вибору відповідної моделі динаміки об'єкта управління. В результаті розгляду отриманих рівнянь для синтезу структури і параметрів матриць передавальних функцій ланок корекції встановлено, що разомкнуту систему управління доцільно застосовувати для нелінійного багатовимірного об'єкта, схильного до дії стохастичних корисних сигналів, збурень і перешкод, якщо випадкові складові цих впливів є корельованими.

### Література

1. Блохин Л. Н., Житецкий Л. С. Нелинейные оптимальные системы стохастической стабилизации. Кибернетика и вычислительная техника. 2003. Вып. 139. С. 12—23.
2. Осадчий С. И., Зозуля В. А. Комбинированный метод синтеза оптимальных систем стабилизации многомерных подвижных объектов при стационарных случайных воздействиях. Международный научно-технический журнал «Проблемы управления и информатики». 2013. №3. С. 40—49.
3. Hamid D. Taghirad. Parallel Robots: Mechanics and Control. CRC Press Reference 2013. 533.
4. Блохин Л. Н., Осадчий С. И., Зозуля В. А. Аналитическое конструирование разомкнутых систем стохастического управления многомерным нелинейным объектом. Міжнародний науково-виробничий журнал «Автоматизація технологічних і бізнес-процесів» Volume 8.

Лисенко В. П., доктор технічних наук, професор,  
Національний університет біоресурсів і природокористування України  
Болбот І. М., кандидат технічних наук, доцент,  
Національний університет біоресурсів і природокористування України

## АЛГОРИТМ КЕРУВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИМ РОБОТИЗОВАНИМ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИМ КОМПЛЕКСОМ В ПРОМИСЛОВІЙ ТЕПЛИЦІ

**Анотація.** Мобільний роботизований електротехнічний комплекс, здатний переміщуватись площею теплиці, використовуючи технологічні направляючі. Такий комплекс забезпечить моніторинг основних параметрів атмосфери теплиці, фітомоніторинг, у тому числі якість продукції, ідентифікуючи при цьому її зони. Стратегії керування електротехнічними комплексами, що забезпечують технологію вирощування, будуть формуватись із урахуванням інформації, що надходить від роботизованого електротехнічного комплексу, максимізуючи прибуток виробництва на поточний момент. Такий комплекс повинен володіти окремими ознаками інтелекту і працювати за певними алгоритмами керування, які дозволять: оцінювати якість продукції, проводити моніторинг фітостану та стану атмосфери, переміщуватись по площі, мінімізуючи пройдений шлях, обминати перешкоди, тощо.

**Ключові слова:** алгоритм, мікроклімат, робототехнічний комплекс, теплиця.

Для моніторингу стану атмосфери в спорудах закритого ґрунту використовується мобільний роботизований електротехнічний комплекс, що переміщується технологічними направляючими для вимірювання в атмосфері теплиці температури, вологості, концентрації вуглекислого газу на різних рівнях та температури ґрунту, рослин, оцінює якість рослинної продукції, ідентифікуючи при цьому зону теплиці [1, 2]. Отримана інформація Web-каналами передається до системи формування стратегій керування вищого рівня з метою забезпечення прийнятого критерію оптимізації. Враховуючи наявність зон подібностей, такий комплекс переміщується, мінімізуючи пройдений шлях, оминає перешкоди. Відеосенсори розпізнають образи і оцінюють якість плодів, поверхню листків, що дозволяє спрогнозувати розвиток рослин вцілому. Такий підхід, коли в якості зворотного зв'язку використовується якість рослинної продукції, пропонується вперше і саме це, на нашу думку, дозволить максимізувати прибуток підприємств закритого ґрунту.

Розроблений алгоритм функціонування інтелектуального роботизованого електротехнічного комплексу в промисловій теплиці, в якому враховано:

- оцінка якості продукції;
- моніторинг фітостану та стану атмосфери;
- переміщення по площі, мінімізуючи пройдений шлях, оминаючи перешкоди;
- передача отриманої інформації до системи формування стратегій керування вищого рівня.

**Висновок.** Розроблено алгоритм функціонування інтелектуального роботизованого електротехнічного комплексу в промисловій теплиці, що дозволяє: оцінювати якість продукції, проводити моніторинг фітостану та стану атмосфери, переміщуватись по площі, мінімізуючи пройдений шлях, обминати перешкоди, передавати отриману інформацію до системи формування стратегій керування вищого рівня.

### Література

1. Лисенко В. П., Болбот І. М. Роботи та робототехнічні системи в агропромисловому комплексі. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. 2010. № 153. С. 105—110.
2. Шворов С. А., Болбот І. М., Штепа В. М., Заєць Н. А., Дудник А. О. Багатокритеріальний синтез маршрутів пересування мобільних роботів з розпізнаванням перешкод. Енергетика і автоматика. №1. 2012.



**Ромасевич Ю. О.**, доктор технічних наук, доцент,  
Національний університет біоресурсів і природокористування України  
**Ловейкін В. С.**, доктор технічних наук, професор,  
Національний університет біоресурсів і природокористування України

## МОДИФІКАЦІЯ СТРУКТУРИ ПІ-РЕГУЛЯТОРА

**Анотація.** Запропоновано критерії якості процесу регулювання на основі яких встановлено доцільність застосування ПІ-регулятора: класичного та із модифікованою структурою. Модифікований ПІ-регулятор дозволяє значно зменшити час регулювання, при цьому інші показники якості регулювання незначно погіршуються.

**Ключові слова:** ПІ-регулятор, модифікація структури, критерій якості, метод налаштування, збурення, уставка.

**Постановка проблеми.** Автоматичні регулятори знайшли широке використання у різних процесах промисловості, сільського господарства, будівельної галузі, транспорту тощо. Їх використання дозволяє підвищити якість виробленої продукції, зменшити енерго- та матеріаловитрати, збільшити продуктивність технологічних процесів.

Одним із найпоширеніших регуляторів є пропорційно-інтегральний (ПІ). Використання саме такого типу регулятора зумовлене простотою його налаштування та інтуїтивною зрозумілістю алгоритму його роботи [1].

Незважаючи на значне поширення ПІ-регуляторів у різних сферах виробництва їм притаманні певні недоліки, які пов'язані з невисокою якістю регулювання, особливо у нелінійних системах, системах, які не мають чітко встановлених параметрів, або параметри яких можуть змінюватись у часі.

Одним із ключових питань, яке впливає на якість регулювання, є метод налаштування ПІ-регулятора. На сьогоднішній день відомі десятки таких методів, кожен з яких має свої недоліки і переваги [2].

Однак, вибір того чи іншого методу – це не єдиний шлях до покращення якості процесу регулювання. Одним із таких шляхів є зміна структури ПІ-регулятора.

**Завдання дослідження:** проаналізувати якість процесу регулювання при класичній та модифікованій структурі ПІ-регулятора для різних методів його налаштування.

Для оцінки якості процесу регулювання використаємо наступні критерії:

1) середня нормальна інтегральна оцінка похибки:

$$\bar{e} = t_p^{-1} \int_0^{t_p} |e| dt, \quad (1)$$

де:  $t_p$  – час регулювання;  $e$  – похибка ( $e = x_y - x_p$ );  $x_y$  – уставка (задане значення регульованої величини);  $x_p$  – реальне значення регульованої величини;

2) модуль середнього значення керування:

$$\bar{u} = t_p^{-1} \int_0^{t_p} |u| dt, \quad (2)$$

де:  $u$  – керування;

3) перерегулювання:

$$e_{\max\%} = \frac{e_{\max}}{x_y} \cdot 100\%, \quad (3)$$

де:  $e_{\max} = \max(x_y - x_p)$ ;

4) час регулювання (момент часу виходу регульованої величини  $x_p$  в область де похибка не перевищує допустимої похибки):

$$t_p = \arg(x_p(t) \leq x_y \pm e_{\text{доп}}), \quad (4)$$

де:  $e_{\text{доп}}$  – допустима похибка регулювання (як правило,  $e_{\text{доп}} = 0,05e$ ).

Запропоновані критерії (1)–(4) були розраховані для режиму відпрацювання уставки ( $x_y=1$ ) системою, передаточна функція якої має вигляд  $(s+1)^{-1}$  для низки методів налаштування ПІ-регулятора (табл. 1).

Таблиця 1

Показники якості автоматичного регулювання

Метод налаштування ПІ-регулятора	Класичний ПІ-регулятор				Модифікований ПІ-регулятор			
	$\bar{e}$	$\bar{u}$	$e_{\max \%}$	$t_p, \text{с}$	$\bar{e}$	$\bar{u}$	$e_{\max \%}$	$t_p, \text{с}$
Циглера-Нікольса	0,25	0,98	0	12,4	0,55	1,22	4,9	4,1
Циглера-Нікольса (частотний)	0,2	1,22	56,7	23,4	0,25	1,37	50,8	12,8
Каппа-Тау	0,49	0,81	0,6	9,8	0,52	0,8	0,3	9,1
Каппа-Тау (частотний)	0,54	0,99	1,7	5,6	0,55	1	2,3	5,6
AMIGO	0,4	0,81	0	13,6	0,5	0,79	0,5	10,1
AMIGO (частотний)	0,26	1,12	16,5	9,4	0,38	1,2	14,2	5,9
Чьена-Хронеса-Резвіка	0,25	0,88	0	22,9	0,42	0,89	2,7	9,9
Коена-Куна	0,21	1,11	54,3	20	0,27	1,22	38,5	9,6
Лямбда	0,38	0,8	0	16,5	0,5	0,76	0,4	11,4
Скогестада (SIMC)	0,37	1	5,5	8,9	0,56	0,98	2,3	5,6
Тіреуса-Луїбена	0,17	1,01	12,8	17,6	0,28	1,25	21,7	7,1

Аналіз результатів, які наведені у табл. 1 показує, що величини критеріїв  $\bar{e}$ ,  $\bar{u}$  та  $e_{\max \%}$  збільшились, однак час регулювання зменшився.

**Висновки.** Модифікація структури ПІ-регулятора дозволяє підвищити швидкодію процесу регулювання ціною незначного погіршення інших показників: середньої нормальної інтегральної оцінки похибки, модуля середнього значення керування та перерегулювання. Таким чином, у технологічних процесах, які вимагають швидкої стабілізації регульованої величини в околі уставки використання модифікованого ПІ-регулятора є доцільним.

#### Література

1. Hägglund T., Åström K. J. Revisiting the Ziegler-Nichols rules for PI control. Asian J. Control 4(4). 2002. 364-380.
2. Skogestad S. Simple analytic rules for model reduction and PID controller tuning. J. Process Control 13(4). 2003. 291-309.

УДК 004.62

Джуренко Т. С., аспірант,  
Національний університет харчових технологій  
М'якшило О. М., кандидат технічних наук, доцент,  
Національний університет харчових технологій  
Романенко В. М., студент,  
Національний університет харчових технологій

## РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ПОШУКУ РЕЛЕВАНТНИХ ВЕБ-ДОКУМЕНТІВ ЗА ЗАПИТОМ КОРИСТУВАЧА

**Анотація.** У даній тезі проаналізовано проблеми пошуку необхідних текстових даних та їх опрацювання в мережі Інтернет. Процес відбору інформації за запитом користувача займає досить багато часу. Саме тому постала необхідність створення системи пошуку корисної інформації, технології глибокого аналізу текстів.

Дана система – це новий вид пошуку, який на відмінно від традиційних пошуковичів, не тільки знаходить списки документів, релевантних по запиту користувача, а й вилучає в них необхідну інформацію і формує єдиний релевантний документ.

**Ключові слова:** теорія множин, терм, парсер, запит, релевантний документ, булева модель.

Разом із значним зростанням об'єму загальнодоступних джерел інформації і електронних документів в мережі Інтернет, зростає потреба в системах аналізу та відбору інформації. Останнім часом, все більше й більше дослідницьких груп концентрують свою увагу на розробці систем пошуку значимої інформації.

Метою подальшого дослідження є аналіз пошукових систем та методів пошуку інформації в мережі Інтернет і розробка інформаційної технології відбору релевантних маркетингових даних, серед знайдених в глобальній мережі, за запитом користувача.

Для досягнення поставленої мети були вирішені наступні задачі:

- дослідження і аналіз існуючих методів пошуку інформації в мережі Інтернет, а саме: семантичного та булевого;
- обґрунтування доцільності розробки системи спеціалізованого пошуку маркетингових даних, який буде реалізовувати в собі вказані вище методи;
- розробка алгоритму та програми аналізу відібраних пошуковиком даних з мережі Інтернет
- розробка алгоритму формування єдиного релевантного документу з масиву документів по запиту користувача.

При розробці системи пошуку та відбору маркетингових даних з мережі Інтернет використовувався булевий метод пошуку. Булевий пошук – це комбінація елементів, що дозволяють включати і виключати із пошукових результатів документи, що містять певні слова. Це досягається за допомогою булевих операторів and, not, or, near [1].

Розглянемо алгоритм формування єдиного релевантного документа за запитом користувача.

Припустимо, що за запитом користувача  $Q$  в базі даних знаходиться  $P$  документів, що відповідають цьому запиту, а пред'явлено для перегляду всього  $N$  документів, то повнота пошукової системи визначається за формулою:  $\Pi = N/P * 100$  %. У випадку, якщо  $\Pi$  виявляється більше 100 %, очевидно, що користувачеві видано мінімум  $N - P$  документів, що не відповідають його запиту, тобто нерелевантних.

Під релевантністю розуміється формальна відповідність інформації, що видається системою запиту. Якщо за запитом користувача отримано  $N$  документів, які представляють

собою об'єднання двох множин документів: таких, що відповідають запиту (нехай їх кількість –  $N_1$ ) і не відповідають (їх кількість –  $N_2$ ), тобто  $N=N_1+N_2$ , тоді релевантність, як ступінь відповідності, визначається за формулою  $P=N_1/N * 100\%$ , а шум – за формулою  $S=N_2/N*100 \%=100 \% - P$ . Якщо ж позначити кількість документів, що відповідають запиту у вихідному масиві як  $R$ , то відношення  $(N_1/R) * 100 \%$  буде визначати повноту пошуку.

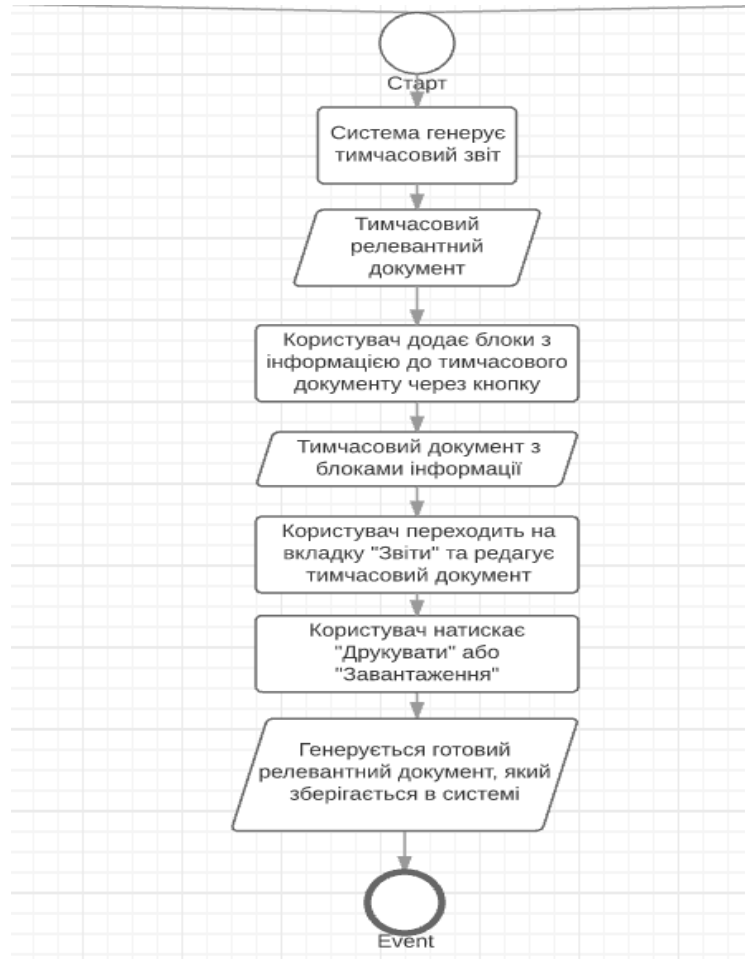


Рисунок 1 – Блок-схема «Формування єдиного релевантного документа по запиту користувача»

Отже, чим нижче релевантність, тим повнота вище.

Актуальність роботи є очевидною, оскільки життя сучасного суспільства є дуже динамічним, кожен з нас намагається віднайти корисну, цінну і в той же час у найкоротший термін. Найважливішим завданням під час розробки пошукової системи стало покращення результатів пошуку, ефективності та зручності її використання. Для цього було проаналізовано існуючі методи пошуку, алгоритми їхньої роботи і виявлено низку недоліків.

При цьому, на основі проведеного аналізу було запропоновано алгоритм пошуку і подальшої обробки web-документів за сформованим запитом користувача, а також алгоритм формування єдиного релевантного документа з масиву документів. Запропонований алгоритм має практичну цінність та може застосовуватись для підвищення ефективності роботи пошукової системи.

### Література

1. Шарапов Р. В., Шарапова Е. В. Пути расширения булевой модели поиска. Киев. 2010. № 6. 530 с.

**Воронков О. А.**, аспірант,  
Національний університет біоресурсів і природокористування України  
**Роговський І. Л.**, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,  
Національний університет біоресурсів і природокористування України

## **АВТОМАТИЗАЦІЯ РОБОТИ ОПЕРАТОРІВ З МОНІТОРИНГУ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ПРИ ПЕРЕВЕЗЕННІ ЗЕРНОВОГО ЗБІЖЖЯ**

**Анотація.** Для вироблення загального методологічного підходу до вирішення питань вдосконалення організації автоматизація роботи операторів з моніторингу транспортних засобів при перевезенні зернового збіжжя був застосований системний підхід. З точки зору системного підходу транспортний засіб, як складова виробничого процесу вирощування сільськогосподарської продукції, розглядається як відносно відокремлена структура, що складається з різних елементів, взаємодіючих між собою і з зовнішнім середовищем [1–3].

**Ключові слова:** автоматизація, моніторинг, транспортний засіб, оператор.

Сервер являє собою спеціальний комп'ютер з встановленим операційною системою Linux, встановленим серверним навігаційним програмним забезпеченням і має підключення до мережі Інтернет з присвоєним постійним IP-адресою (рис. 1).



Рисунок 1 – Сервер

Універсальна архітектура Linux в поєднанні з простими алгоритмами роботи і висока пропускна здатність сервера дозволяє підключати до сервера до декількох тисяч абонентських терміналів без зниження швидкодії системи у цілому. Для підвищення надійності системи потоки даних можуть дублюватися на інший аналогічний сервер системи моніторингу, виконує функції резервного.

Основні функції центрального сервера супутникової системи ГЛОНАСС і GPS моніторингу транспорту:

- Встановлення з'єднань з терміналом або персональним трекером.
- Підключення додаткового обладнання для відправки текстових повідомлень водієві і команд оперативного управління.
- Прийом та обробка надходять від абонентських терміналів навігаційних і телематичних даних.
- Робота оператора/диспетчера в навігаційній програмі через WEB браузер.
- Робота адміністратора системи для підключення і адміністрування об'єктів.
- Зберігання інформації в базі даних.
- Формування звітів за запитом користувачів.

Програмне забезпечення призначене для автоматизації роботи операторів в чій обов'язки входить управління і контроль парком транспортних засобів. Робота супутникової системи ГЛОНАСС і GPS дозволяє визначити ряд дуже важливих показників таких як швидкість руху і витрата палива (рис. 2 і рис. 3).

Основні функції програмного забезпечення супутникової системи ГЛОНАСС і GPS моніторингу транспорту:

- Оперативний контроль стану транспортних засобів на основі інформації, що надходить.
- Відображення місцеположення транспорту на карті.

- Реєстрація відбуваються планових і непланових подій.
- Перегляд історії переміщення транспортних засобів.
- Перегляд звітів про роботу транспортних засобів.
- Облік паливно-мастильних матеріалів.
- Ведення шляхових листів.
- Контроль і облік часу роботи водіїв.

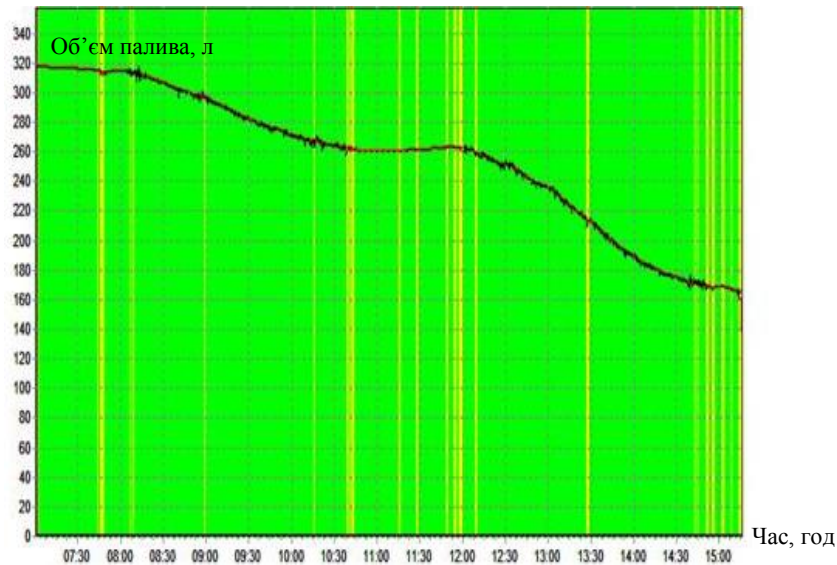


Рисунок 2 – Діаграма витрат палива

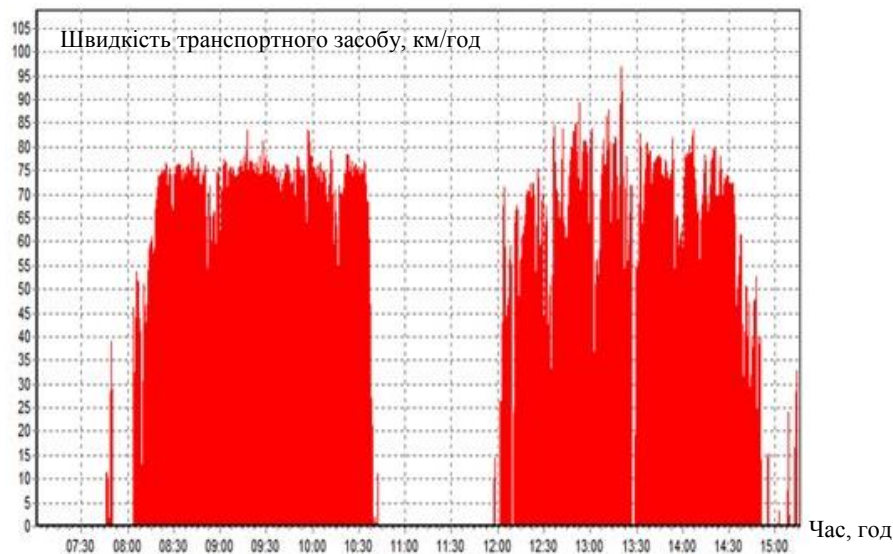


Рисунок 3 – Діаграма швидкості транспортного засобу

Висновок. Вся інформація зберігається в базі даних сервера системи моніторингу транспорту, дозволяючи складати звіти, вести статистику, а також аналізувати роботу транспорту.

### Література

1. <http://nautica.com.ua/uk/usage/pasazhirski-perevezennya>.
2. <http://systemgroup.com.ua/ru/content/logistua-sistema-upravleniya-transportom>.
3. Voronkov O. A., Rogovskii I. L. Analytical prerequisites to transport and technological systems of transportation of production of crop production. Globalization of scientific and educational space. innovations of transport. problems, experience, prospects. Theses of International Scientific Conference. 3-12 May 2017. Dresden. Germany. Paris. France. 2017. 47-50.

Кравчишин В. С., магістр, Національний університет «Львівська політехніка»  
Медиковський М. О., доктор технічних наук, професор,  
University of Computer Sciences and Skills, Poland, Lodz

## ШТУЧНІ НЕЙРОННІ МЕРЕЖІ В ЗАДАЧАХ ПРОГНОЗУВАННЯ ШВИДКОСТІ ВІТРУ

**Анотація.** В роботі досліджено можливість швидкого короткотермінового прогнозування швидкості вітру з використання штучних нейронних мереж. Встановлено залежність відхилення прогнозованих значень швидкості вітру від обраної структури ШНМ, величини навчальної вибірки та функції навчання мережі.

**Ключові слова:** штучна нейронна мережа, прогнозування швидкості вітру, вітрова електрична станція.

При виконанні графіка навантаження споживачів здійснюються відповідні перемикання стану окремих вітрових електроустановок, з врахуванням енергетичного потенціалу вітру в даний момент часу. Задля оптимізації даного процесу, а саме зменшення числа переключень, доцільно враховувати майбутні значення швидкості вітру. Актуальною є задача короткострокового прогнозування значень швидкості вітру на основі передісторії. Існує значна кількість успішних рішень, які дозволяють будувати прогноз із застосуванням імовірнісних методів та суб'єктивних знань експертів [1, 2, 3]. Основними недоліками, таких методів є: недостатня точність прогнозу, залежність результатів від знань та кваліфікації експерта, суб'єктивізм при розробленні математичної моделі, та структури, і відповідно, труднощі з реалізацією таких моделей та інше.

**Метою роботи** є попереднє опрацювання вхідних параметрів системи автоматизованого управління енергодинамічними режимами вітрової електричної станції.

**Результати досліджень.** Задля отримання адекватного рішення при прогнозуванні часових рядів, доцільно використовувати математичні моделі засновані на використанні штучних нейронних мереж [4]. Побудова нейронної мережі включає в себе два етапи: вибір типу (архітектури) мережі, та підбір ваг, тобто навчання нейронної мережі. Для дослідження задачі динамічного прогнозування швидкості вітру, використано класичну однонапрявлену штучну нейронну мережу зворотнього поширення похибки (back propagation network).

Проведено комп'ютерні експерименти, для прогнозування швидкості вітру, з використанням різних часових інтервалів. Вихідні дані отримано з [5], заміри проводились щоденно о 2:00, 5:00, 8:00, 11:00, 14:00, 17:00, 20:00, 23:00 годинах на висоті 10-12 метрів. Для експерименту сформовано тестову вибірку з статистичних даних швидкості вітру для міста Асканія-Нова за період з 1 січня 2014 року до 31 грудня 2014 року включно. Як вихідні еталонні дані використано вибірку з статистичних даних швидкості вітру для міста Асканія-Нова за період з 1 червня до 30 червня 2015 року. В результаті обґрунтовано структуру нейронної мережі, яка дозволяє з відносно сталою точністю прогнозувати значення швидкості вітру, для досліджуваного міста. Структурна схема передбачає навчання нейронної мережі без застосування прихованих шарів, на вхід подаються 8 послідовних значень швидкості вітру, а на виході отримується 1 нове значення. В схемі нейрон використовує лінійну функцію активації для отримання вихідного значення. Для навчання нейронної мережі використано функцію, яка модифікує ваги і зміщення відповідно до алгоритму пружного зворотнього поширення.

Результати проведеного експерименту подано на рис. 1.

Важливим моментом процесу прогнозування є об'єктивне визначення якості отриманого прогнозу. Для оцінки прогнозу можна використовувати середньоквадратичну похибку (СКП). Проте значення СКП не достатньо для оцінки якості прогнозу, оскільки воно залежить від масштабу даних. Поглиблене оцінювання якості прогнозу досягається використанням критеріїв які дають відносні оцінки якості (коефіцієнт Тейла, або ж коефіцієнт невідповідності прогнозу) та відносні оцінки у процентах. Основною перевагою таких оцінок є їх незалежність від масштабу даних.

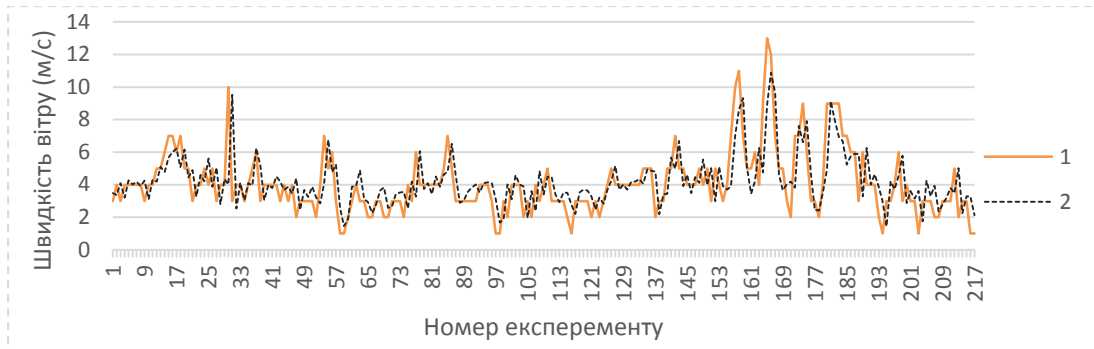


Рисунок 1 – Динаміка зміни швидкості вітру на еталонній та навчальній вибірках для міста Асканія-Нова, для періоду 1-30 червня 2015 року (1 – еталонні значення швидкості вітру, 2 – прогнозовані значення швидкості вітру)

Коефіцієнт Тейла  $U$ , який розраховується як (1):

$$U = \frac{\sqrt{\frac{1}{s} \sum_{k=1}^s [y(k+i) - \hat{y}(k+i)]^2}}{\sqrt{\frac{1}{s} \sum_{i=1}^s y^2(k+i) + \frac{1}{s} \sum_{i=1}^s \hat{y}^2(k+i)}}, \quad (1)$$

де:  $S$  – горизонт кроків прогнозування,  $y(k+i)$  – фактичні значення даних,  $\hat{y}(k+i)$  – оцінки прогнозів. Коефіцієнт Тейла є важливим ідентифікатором якості моделі прогнозу. Значення даного коефіцієнта, за означенням знаходяться в діапазоні від нуля до одиниці.  $0 \leq U \leq 1$ . При  $U \rightarrow 0$  оцінки прогнозів наближаються до фактичних значень ряду і відповідно модель має високу ступінь адекватності. За оцінкою  $U$  можна встановити придатність моделі чи методу для прогнозування часового ряду.

В роботі для оцінювання якості прогнозу розраховано коефіцієнт Тейла, середньоквадратичну похибку, та середнє абсолютне відхилення. Середньоквадратична похибка прогнозу  $\varpi$  розраховується як (2):

$$\varpi = \frac{\sum_{i=1}^n |y_i - y'_i|}{n}, \quad (2)$$

де:  $y_i$  – еталонне значення  $i$ -го елемента, де  $i \in (1; n)$ , а  $y'_i$  – прогнозоване значення  $i$ -го елемента,  $n$  – кількість значень у вибірці.

Середнє абсолютне відхилення прогнозу  $\varphi$  розраховується як (3):

$$\varphi = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{|y_i - y'_i|}{y_i}}{n} * 100. \quad (3)$$

Аналіз результатів показує можливість застосування дослідженої структури нейронної мережі для прогнозування швидкості вітру для будь-якої пори року. Результати досліджень наведено у таблиці.

Таблиця

Результати прогнозування

	Червень
Коефіцієнт Тейла	0,3299
Середньоквадратичне відхилення	2,2398
Середнє абсолютне відхилення, %	34,6007



На основі досліджень обґрунтовано доцільність застосування однонапрямленої мережі з 8 елементами на вході та одним на виході для прогнозування швидкості вітру, в регіонах з високим вітровим енергетичним потенціалом.

Універсальність структури нейронної мережі, збільшує похибку отриманого прогнозу, тому в кожному конкретному випадку може існувати необхідність підвищити точність прогнозу шляхом зміни її структури. Підвищення точності прогнозу досягається застосуванням різних типів нейронних мереж, способів (видів) навчання НМ, застосуванням різної кількості вхідних та вихідних сигналів. Верифікація результатів прогнозу для кожного вітрового регіону здійснюється за описаним методом.

### **Висновки**

Аналіз результатів показує можливість швидкого короткотермінового прогнозування швидкості вітру з використання штучних нейронних мереж. При цьому встановлено залежність відхилення прогнозованих значень швидкості вітру від обраної структури ШНМ, величини навчальної вибірки та функції навчання мережі.

Результати прогнозування параметрів вітру мають вагомe значення для задач визначення активного складу вітрової електричної станції, вони дають змогу уточнити розв'язки таких задач:

- зменшення кількості переключень ВЕУ. В результаті оптимізації отримуємо обґрунтування такого набору активних вітрових електроустановок, який дасть змогу забезпечити не лише поточні, а й майбутні параметри енергодинамічних режимів ВЕС;
- підвищення ефективності вітрової електричної станції за рахунок зменшення експлуатаційних втрат.

### **Література**

1. Баклан І. В., Степанкова Г. А. Імовірнісні моделі для аналізу та прогнозування часових рядів. Искусственный интеллект. 2008. № 3. С. 505—515.
2. Кучанський О. Ю., Білощицький А. О. Прогнозування часових рядів методом селективного зіставлення зі зразком. Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2015. № 6(4). С. 13—18.
3. Мазорчук М. С., Симонова К. А., Греков Л. Д. Применение методов и моделей нечеткой логики для моделирования экономических процессов. Системы обработки информации. 2007. № 9. С. 159—162.
4. Вернигора Р. В., Єльнікова Л. О. Можливості використання штучних нейронних мереж при прогнозуванні поїзної роботи залізничних напрямків. Збірник наукових праць Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. Транспортні системи та технології перевезень. 2014. Вип. 7. С. 15—19.
5. Інтернет ресурс: “Прогноз погоди”: <http://gp5.ua>.

## ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ДЛЯ ЗАДАЧ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭРГОНОМИЧЕСКОГО КАЧЕСТВА АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ

**Аннотация.** Рассмотрена проблема эргономического качества автоматизированных систем. Поставлена задача оценивания и оптимизации алгоритмов человеко-машинного взаимодействия. Разработана диалоговая система оценки надежности и технологических процессов обработки информации и выбора оптимальных решений, направленных на обеспечение эргономического качества.

**Ключевые слова:** эргономика, человек-оператор, надежность, деятельность, моделирование.

**Введение.** От 50 до 80% аварий в производственных системах разных типов, более 64% катастроф на морском флоте и 80% в авиации вызваны ошибками человека-оператора.

Исследования в области проектирования человеко-машинных систем (ЧМС) ставят целью уменьшить ошибочные реакции человека-оператора, обеспечить допустимые условия труда оператора и приспособить "машинную часть" к человеку[1].

Эффективность эргономических исследований существенно зависит от возможности формализовать взаимодействие человека с машиной и получать оперативные оценки вариантов организации деятельности, решать задачи оптимизации.

**Постановка задачи.** Разработать интерактивный моделирующий квалиметрический комплекс для эргономического обеспечения АСУ.

**Результаты.** В качестве базовой выбрана методология функционально-структурной теории эрготехнических систем проф. А.И. Губинского.

При обосновании структуры системы обеспечения эргономического качества информационных систем выделяем комплексы работ, которые проводятся на этапах: "Проектирование"; "Изготовление"; "Эксплуатация".

Особенностью современных ЧМС являются возрастающие полиэргатичность, гибкость и необходимость оперативной "перестройки" (закрепления функций "под задачу").

Поэтому многие задачи, которые решались ранее 1 раз на этапе проектирования и использовались многократно при эксплуатации системы, для современных полиэргатических гибких систем с нерегламентными задачами должны решаться оперативно с учетом большого количества особенностей и ограничений.

Для обеспечения оперативного компьютерного моделирования получены (с участием ученых Сумского национального аграрного университета- Пасько Н.Б., Барченко Н.Л.) новые математические модели:

- системного анализа АСУ (компонентные и морфологические)[2];
- языка описания дискретного человеко-машинного взаимодействия;
- автоматической редукции функциональной сети, описывающей алгоритм функционирования ЧМС;
- вывода расчетных зависимостей, необходимых для оценивания типовых функциональных структур, используемых при редукции функциональной сети (в том числе с учетом ошибок разных типов);
- выбора оптимального варианта человеко-машинного взаимодействия (в разных постановках, для разных задач эргономического обеспечения – определение степени автоматизации, расчет количества операторов, выбор структур деятельности и способов выполнения операций, распределения функций между операторами, определения мероприятий системы обеспечения эргономического качества и др.;
- эргономической экспертизы элементов автоматизированных технологий [3].

Реализована (Пасько Н.Б.) компьютерная технология, позволяющая в диалоговом режиме моделировать ЧМС:

- описывать;
- оценивать;
- оптимизировать.

Взаимодействие операторов с программно-техническими средствами АСУ, а также вести необходимые модели "человека", техники, справочники о надежности и качестве выполнения типовых действий и операций.

Оптимизация человеко-машинного взаимодействия предусматривает возможность изменять технологии функционирования таким образом, чтобы реализовать адаптацию автоматике к особенностям человека-оператора.

**Апробация.** Информационная технология прошла апробацию при проектировании и эксплуатации автоматизированных систем различного назначения:

- АСУ технологическими процессами,
- АСУ организационного типа,
- банковские информационные системы,
- расчетные центры,
- системы электронного образования.

**Выводы.** Разработка основана на новых моделях человеко-машинного взаимодействия и может быть полезна при создании и внедрении систем обеспечения эргономического качества автоматизированных систем различного назначения.

#### Литература

1. Cacciabue P. C. Human error risk management for engineering systems: a methodology for design, safety assessment, accident investigation and training. *Reliability Engineering & System Safety*. 2014. Vol. 83(2). P. 229—269.
2. Lavrov E., Barchenko N., Pasko N., Borozenec I. Development of models for the formalized description of modular e-learning systems for the problems on providing ergonomic quality of human-computer interaction. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2. 2 (86). P. 4—13.
3. Lavrov E., Kупenko O., Lavryk T., Barchenko N. Organizational Approach to the Ergonomic Examination of E-Learning Modules. *Informatics in education*. 2013. Vol. 12. No 1. P. 105—123.

Литвин А. О., студент,  
Національний університет харчових технологій  
Струзік В. А., аспірант,  
Національний університет харчових технологій  
Грибков С. В., кандидат технічних наук, доцент,  
Національний університет харчових технологій

## ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ І ПІДХОДІВ ПРОВЕДЕННЯ РЕФАКТОРИНГУ БАЗ ДАНИХ

**Анотація.** В роботі проведено дослідження методів і підходів проведення рефакторингу баз даних. Досліджено основні ознаки при яких необхідно проводити рефакторинг баз даних, а також розглянуто основні операції рефакторингу.

**Ключові слова:** рефакторинг, бази даних, інформаційні системи.

На різних етапах життєвого циклу будь-якого програмного забезпечення виникає задача рефакторингу його елементів та складових з метою підвищення ефективності та якості його функціонування, оптимізації кінцевого продукту, забезпечення сумісності з підходами інших розробників.

На даний момент підходи рефакторингу програмного коду описані в більшості фундаментальних літературних джерелах, існують багато підходів та автоматизованих програмних засобів для його проведення. Процес рефакторингу програмного коду в теорії не чим не відрізняється від практичного застосування [1].

Але особливу увагу необхідно виділити рефакторингу баз даних, що направлений на підвищення ефективності роботи з нею із забезпеченням збереження її функціональної та інформаційної семантики. Необхідно відмітити, що проведення рефакторингу бази даних залежить від того, на якій стадії знаходиться програмне забезпечення, адже чим ближче воно до стадії впровадження та експлуатації, тим буде складнішим та займати більше часу. Рефакторинг баз даних набагато складніший, ніж рефакторинг програмного коду, тому що [1, 2]: база даних містить у собі структуровані данні, збережені у відповідності з певною схемою; програмні конструкції, такі як збережені процедури та тригери, що забезпечують виконання бізнес-логіки. Рефакторинг збережених програмних конструкцій у базі даних здійснюється за стандартними підходами рефакторингу програмного коду та підлягає автоматизованому тестуванню. Але будь-які зміни у базі даних стосуються не тільки форматів та структур збереження інформації в ній, а впливають на підходи та функціонал програмного забезпечення у цілому. Особливу проблему при рефакторингу бази даних створюють наявні данні в ній.

Основними причинами проведення рефакторингу баз даних є наявність в ній наступних недоліків [2]: багатоцільові стовпці, що використовуються в декількох цілях та в різних додатках; багатоцільові таблиці, що використовуються для зберігання даних про сутності декількох різних типів; надлишковість даних, що є суттєвою проблемою в повсякденній експлуатації бази даних, оскільки при зберіганні одних і тих же даних в декількох місцях виникає ймовірність порушення відповідності та узгодженості; таблиць з великою кількістю стовпців, що може свідчити про те що поля можуть відноситись до різних сутностей; багатозначні стовпці, що вміщують в різних позиціях кілька різних фрагментів інформації; багатозначні стовпці, всередині яких в різних позиціях представлено кілька різних фрагментів інформації.

При проведенні рефакторингу бази даних не повинно відбуватися додавання нових функціональних можливостей або порушуватися робота існуючих, а також не повинні додаватися нові дані або змінюватися існуючі, але при цьому можливі зміни як у схемі бази даних так і в модулях забезпечення бізнес-логіки обробки інформації, тому що вони прив'язані до схеми [1]. Також необхідно відмітити, що іноді необхідно провести достатньо глибокий рефакторинг, що буде стосуватися дуже суттєвих змін з метою оптимізації та вдосконалення, при збереженні функціональності програмного забезпечення.

При проведенні рефакторингу баз даних доцільно виділити 6 основних категорій операцій, що розподілені за наступними напрямками покращення: структури; якості даних; зв'язків та цілісності; архітектури; методів; перетворення, що не входять до операцій рефакторингу. Доцільно розглянути кожен категорію окремо.

Операції рефакторингу структури направлені на зміну структур однієї чи декількох таблиць або представлень. Прикладом такої операції може бути переміщення стовпця з однієї таблиці в іншу або розбиття багатозначного стовпчика на кілька окремих стовпців, кожен з яких виконує окреме призначення.

Операції рефакторингу направлені на якість даних в першу чергу повинні забезпечити ефективність збереження та роботи з такими даними, що досягається за рахунок додавання правил валідації, форматів введення даних, забезпечення неможливості залишати порожніми поля та використання значень за замовчуванням та ін.

Проведення операції рефакторингу направлених на зв'язки та цілісність даних забезпечують зв'язаність даних, що знаходяться в різних таблицях зв'язаних різними видами зв'язків. При таких операціях доцільним є створення тригерів для: реалізації каскадного типу зв'язку; ведення історії проведених операцій; збереження видалених чи змінених записів у додаткових таблицях та ін.

Операції рефакторингу архітектури направлені на розбиття складних операцій бізнес-логіки, що реалізовані у клієнтських додатках, на простіші та реалізації їх у збережених процедурах та функціях, що дозволяє уніфікувати подальше їх використання у різних програмних модулях та додатках.

Операції рефакторингу методів полягає у модифікації збережених процедур, функцій та тригерів направлених на оптимізацію та покращення якості їх виконання. При виконанні даних операцій діють правила рефакторингу програмного коду, але необхідно враховувати усі наслідки таких змін. Найпростішими прикладами є зміна назв збережених процедури з метою спрощення розуміння її призначення, а більш складним прикладом може бути заміна алгоритму обробки інформації.

Остання група операцій перетворення, що не входять до операцій рефакторингу, направлена на зміну її семантики, адже вони можуть бути виправдані тільки в тому разі, якщо узгоджуються із замовником програмного забезпечення.

Для проведення успішного рефакторингу баз даних необхідно дотримуватися наступних нескладних підходів, що на думку авторів були виділені при дослідженні: створювати повну копію існуючого програмного забезпечення та її елементів; використовувати засоби автоматизованого контролю версій розробки програмного забезпечення; будь-які зміни вносити у початковий SQL – код по створенню бази даних; використовувати засоби автоматизованого тестування.

Необхідно відмітити, що розглянуті підходи для рефакторингу баз даних застосовуються при використанні реляційних та об'єктно-орієнтованих систем управління баз даних. Для спрощення процесу рефакторингу на етапі обрання СУБД доцільно обирати об'єктно-орієнтовані СУБД, адже вони підтримують еволюційний підхід для створення програмного забезпечення, а от реляційні СУБД орієнтуються на послідовний підхід розробки.

### Література

1. Sadalage P. J., Ambler S. W. Refactoring databases: evolutionary database design. Addison-Wesley Signature Series. Addison-Wesley Professional. 2006. 384.
2. Fowler M., Sadalage P. J Evolutionary Database Design. martinowler.com. May 2016. Proceedings. <http://martinowler.com/articles/evodb.html>. Last access: 2017.
3. Fowler M. Refactoring. Refactoring.com. May 2017. Proceedings. Mode of access. <https://www.refactoring.com>. Last access. 2017.

Мельник В. П., аспірант,  
Черкаський державний технологічний університет  
Підгорний М. В., кандидат технічних наук, доцент,  
Черкаський державний технологічний університет  
Тимченко А. А., доктор технічних наук, професор,  
Черкаський державний технологічний університет

## ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ ТРАНСПОРТУВАННЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ ВАНТАЖІВ

**Анотація.** Підвищення ефективності процесів прийняття рішень оперативними підрозділами ДСНС України за рахунок впровадження інформаційних технологій та розробки автоматизованих систем підтримки прийняття рішень.

**Ключові слова:** моніторинг, прийняття рішень, проектування систем, життєвий цикл.

Щороку в Україні транспортними засобами перевозиться понад 900 млн. т вантажів (у тому числі велика кількість небезпечних (НВ)) та понад 3 млрд. пасажирів. Аварії під час перевезення небезпечних вантажів різними видами транспорту часто спричиняють важкі наслідки, які несуть загрозу здоров'ю й життю людей, майну та навколишньому середовищу.

Основні проблеми забезпечення безпеки перевезень небезпечних вантажів в Україні пов'язані з такими обставинами: слабким впровадженням інформаційних технологій при управлінні перевезенням небезпечних вантажів та системою управління НС; відсутністю регіональних автоматизованих систем прогнозування можливих ситуацій та методичних засобів розрахунку ризиків можливих наслідків НС з транспортування небезпечних вантажів [1]; неузгодженістю дій між екстреними службами при ліквідації НС, що пов'язані з небезпечними вантажоперевезеннями; відсутністю на державному рівні законодавчої бази, що регламентувала б роль ДСНС України (крім ліквідації наслідків НС) під час транспортування небезпечних вантажів.

В доповіді авторами вдосконалено моделі керування системою моніторингу перевезення небезпечних вантажів (МПНВ) на основі системного підходу та методики програмування життєвого циклу, шляхом впровадження критерію узагальнених системних вимог цільових показників та характеристик комплексної автоматизації, а також адаптації до предметної області, що забезпечило основу створення систем підтримки прийняття рішень. Вирішення проблеми управління перевезенням небезпечних вантажів та досягнення бажаного результату охоплює наступні етапи: ідентифікація проблеми – управління моніторингом перевезенням небезпечних вантажів в структурі ДСНС України; оцінка актуальності проблеми – відсутність процесу моніторингу перевезення небезпечних вантажів в структурі ДСНС України; визначення мети – використовуючи методику програмування життєвих циклів впроваджено критерій узагальнених системних вимог до цільових показників та характеристик комплексної автоматизації для побудова систем підтримки прийняття рішень для перевезення небезпечних вантажів в структурі ДСНС України; визначення структури системи для побудови набору варіантів - адаптація інформаційних систем на етапах ЖЦ перевезення техногенно-небезпечних вантажів; підготовка рішення (визначення процесу реалізації) – інтеграція автоматизованих підсистем у вигляді програмно-методичних комплексів і комплексів технічних засобів системи підтримки прийняття рішень для управління перевезенням (СМПНВ); узгодження знайденого рішення (визначення рішення) – науково-дослідна робота та дисертаційне дослідження; керування процесом реалізації рішення – завершення наукового дослідження та практичне впровадження результатів дослідження (патенти, свідоцтва, акти впровадження); оцінка реалізації та її наслідки (ефективності) – зменшення часу обробки оперативної інформації, розширення аналітичних можливостей у системі підвищення ефективності реагування підрозділів ДСНС України по ліквідації НС, економічний ефект від попередження можливих збитків від надзвичайних подій під час перевезення небезпечних вантажів.

Особливості проектування систем управління моніторингом перевезення НВ полягають у застосуванні системних моделей та методу системного проектування, на базі механізму адаптації інформаційних систем на етапах ЖЦ перевезення техногенно-небезпечних вантажів, що дає змогу створити комплекс засобів, упорядкувати всю множину локальних задач проектування та оптимізації загального завдання за принципом «об'єкт управління → цілі → засоби». Наявність інформаційної невизначеності на етапах ЖЦ перевезення НВ та процедури прийняття рішень ДСНС України впливає на постановку задачі вирішення проблеми, коли кількість зворотних звернень (схем) слід збільшити для досягнення бажаного результату, який задовольняв би умову управління. Складність СУМПНВ на основі програмування ЖЦ визначається складом її елементів ( $V$  – інфраструктура СМПНВ;  $U$  – керуючі підсистеми СМПНВ;  $B$  – керовані підсистеми СМПНВ;  $W$  – зовнішнє середовище, що взаємодіє з  $V, U, B$ ) та зв'язків:

- а) елементи функціональних підсистем  $B$ , які визначені функцією  $S(B)$ ;
- б) зв'язки  $S_B$  елементів функціональних підсистем  $B$ , які визначені функцією  $S(S_B)$ ;
- в) зв'язки  $S_{BV}$  між функціональними підсистемами  $B$  та інфраструктурою  $V$ , які визначені функцією  $S(S_{BV})$ ;
- г) зв'язок  $S_W$  компонентів системи  $\langle V, U, B \rangle$  із зовнішнім середовищем  $W$ , які визначені функцією  $S(S_W)$ .

Загальна складність СУМПНВ буде відображена сумою її компонентів:

$$S_r = S(B) + S(S_B) + S(S_{BV}) + S(S_W). \quad (1)$$

Сукупність моделей є складністю СУМПНВ, що проектується, та створюється, для використання в категорії цілей  $\{G_{1, \dots, i, \dots, n}\}$ , категорії властивостей  $\{Q_{1, \dots, i, \dots, n}\}$  та досягненні категорії результатів  $\{R_{1, \dots, i, \dots, n}\}$  з відображенням методології системного проектування:  $\{G_{1, \dots, i, \dots, n}\} \rightarrow \{Q_{1, \dots, i, \dots, n}\} \rightarrow \{R_{1, \dots, i, \dots, n}\}$ .

Еволюційно МПНВ як складну систему можна відобразити сукупністю об'єктів таким чином:

$$\Sigma = \left( E(\omega_\alpha)_{\alpha \in \Lambda}, (Z_\tau(s))_{\substack{\tau \in \Gamma \\ s \in S}}, (f_{e\alpha\tau})_{\substack{e \in E, \alpha \in \Lambda \\ \tau \in \Gamma}}, (\chi_{\alpha\tau})_{\substack{\alpha \in \Lambda \\ \tau \in \Gamma}}, (J_{\alpha\tau})_{\substack{\alpha \in \Lambda \\ \tau \in \Gamma}}, \chi, J \right), \quad (2)$$

де:  $E$  – множина елементів системи МПНВ;  $(\omega_\alpha)$  – сімейство структур, що реалізуються в  $\Sigma$ ;  $(Z_\tau(s))$  – сімейство просторів сигналів;  $(f_{e\alpha\tau})$  – сімейство елементів системи  $E$ ;  $\chi_{\alpha\tau}, \chi$  – простори цілей;  $J_{\alpha\tau}, J$  – цільові функції.

Функціональне відображення системи МПНВ (2) представлене елементами  $E$  системи МПНВ, що пов'язані структурою системи  $\omega$ , через множину сигналів  $Z(s)$  зв'язку, які надходять від  $f$  – елементів системи (представлених операторами) в межах допустимого простору  $\chi$  цілей (ЖЦ перевезення НВ) для досягнення цільової функції  $J$  системи МПНВ (реалізація рішень для забезпечення безпеки процесу перевезення НВ на етапах ЖЦ).

Головним завданням у процесі управління при перевезенні небезпечних вантажів є вибір з множини рішень одного, найбільш доцільного в даних умовах (рішення). Показано, що вибір засобів реагування для кожної НП буде успішним, якщо в процесі управлінської діяльності прийняте оптимальне рішення. Завдання програмування ЖЦ СМПНВ полягає в досягненні необхідних цільових показників СМПНВ у середовищі функціонування згідно умов оптимального розподілу обмеженого ресурсу по всіх етапах ЖЦ і в досягненні необхідної техніко-економічної ефективності систем і процесів проектування, побудови й забезпечення оптимального функціонування СМПНВ.

## Література

1. Підгорний М. В. Інформатизація виробничих процесів транспортної інфраструктури. Вісник Черкаського державного-технологічного університету. Черкаси. 2014. №1. С. 14—20.

## РОЗРОБКА WEB-ОРІЄНТОВАНОЇ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРИ ПЛАНУВАННІ ВИКОНАННЯ ДОГОВОРІВ

**Анотація.** У роботі розглядається проблема побудови web-орієнтованої системи підтримки прийняття рішень при плануванні виконання договорів на підприємствах, які діють у сфері надання послуг. Розроблювана СППР забезпечить вирішення більшості задач управління при плануванні та дозволить здійснити глибокий аналіз ситуацій, їх оцінку та вибір оптимального варіанту, виконуючи усі підготовчі дії та формуючи вже готові варіанти рішень.

**Ключові слова:** система підтримки прийняття рішень, web-орієнтована інформаційна система.

Виробнича діяльність підприємств, які діють у сфері надання інформаційних послуг та захисту конфіденційної інформації, значним чином залежить від організації планування виконання договорів. Надання різнопланових послуг широкому колу клієнтів зумовлює необхідність чіткої координованості, оперативності та забезпечення ефективного виконання зобов'язань, які визначаються у відповідності з умовами укладених договорів, що в свою чергу вимагає наявності потужного механізму для планування виконання етапів кожного окремого договору з урахуванням поточного здійснення робіт та з можливістю подальшого своєчасного контролю.

Задача планування для таких підприємств відноситься до класу багатокритеріальних комбінаторних задач, оскільки для знаходження рішення необхідним є не лише досягнення основної цілі отримання максимального прибутку, а узгодженість багатьох факторів та врахування норм, відхилення від яких вимагає прийняття додаткових координуючих рішень.

Математичну модель задачі побудови плану виконання договорів для підприємств, діяльність яких пов'язана з наданням послуг, запропоновано авторами у роботі [1], де також було проведено огляд існуючих підходів і методів розв'язку подібних задач.

За результатами математичного моделювання було виділено узагальнений критерій оцінки ефективності отриманого варіанту виконання етапів договорів, для отримання якого необхідно виконати адитивну згортку наступних чотирьох окремих критеріїв: за часом виконання договорів, за часом запізнення виконання договорів, за сумарним розміром штрафів за затримку виконання, за сумарною вартістю виконання договорів за заданий період.

Крім цього, у роботі [1] було зроблено висновок про доцільність використання АСО (ant colony optimization) алгоритму при вирішенні задачі планування виконання договорів, а також наголошено на важливості дослідження та використання поліпшуючих модифікацій основних етапів алгоритму з метою його адаптації до конкретного класу задач та збільшення швидкості знаходження рішення, близького до оптимального.

З використанням основних ідей АСО алгоритму, шляхом дослідження способів його удосконалення і проведення модифікацій у відповідності з потребами предметної області, що розглядається, авторами створено комбінований алгоритм, використання якого забезпечує можливість знаходження варіантів рішення, близького до оптимального, за мінімальний час.

Для роботи алгоритму створено відповідну предметній області структуру даних, а саме багатоярусний граф, кожний шар якого відповідає робочому часу одного виконавця.

Крім цього, в результаті проведених експериментів з різними варіантами вхідних даних було встановлено, що розв'язок задачі зі збільшенням її розмірності у відповідності з реальними вимогами, при використанні класичного АСО алгоритму витрачав значно більшу кількість часу, ніж запропонований алгоритм.



Важливо зазначити, що алгоритм адаптований для розв'язання прикладних задач формування розкладу виконання замовлень на надання інформаційно-технічних послуг.

Авторами ведеться розробка web-орієнтованої системи підтримки прийняття рішень (СППР) при плануванні виконання договорів для підприємств, діяльність яких пов'язана з наданням послуг. Система повинна забезпечувати можливість розв'язання основних задач прийняття рішень при плануванні, а також їх підтримку необхідною інформацією у будь-якому місці, де є доступ до мережі Інтернет. При розробці даної СППР використано програмну реалізацію запропонованого алгоритму.

Створювана СППР має клієнт-серверну архітектуру, інтегрується з існуючими на підприємстві інформаційними системами та вміщує наступні компоненти: засоби завантаження даних, СД (сховище даних), серверна програмна частина, інструментарій користувача. Джерелами даних для СД слугують база даних інформаційної системи управління договірними відносинами та електронні таблиці відділу матеріально-технічного забезпечення. Тісна інтеграція та зв'язок створюваної СППР з існуючими на підприємстві носіями інформації забезпечує адекватність та достовірність інформаційного забезпечення для підтримки прийняття управлінських рішень при формуванні плану виконання договорів.

Серверна програмна частина створюється мовою програмування Java з використанням сучасних технологій, таких як Spring та Hibernate. При побудові програмної частини використано багатопову архітектуру з розподіленням на наступні основні шари: шар контролерів, за допомогою яких забезпечується взаємодія з клієнтом; бізнес-сервіси, які відповідають за виконання бізнес-логіки; шар репозиторіїв, що призначені для безпосередньої роботи з СД. Взаємодія з клієнтською частиною здійснюється з використанням ідеології REST (RepresentationalStateTransfer), що дозволило виокремити логіку системи від інтерфейсу користувача, а структуру системи зробити більш простою та масштабованою. Основною ідеєю REST є взаємодія з ресурсами через їх представлення за допомогою ідентифікаторів. При цьому, стан клієнта не зберігається на сервері, що спрощує підтримку серверної частини.

Ефективність використання СППР при плануванні та контролі виконання договорів підтверджується наступними факторами: оперативне формування та гнучкість при зміні календарного плану, що пришвидшує виконання замовлень клієнтів та зменшує кількість простоїв під час їх виконання; значне зменшення витрат часу на збір даних та підготовку інформації; можливість швидкого пристосування до поточної ситуації та внесення відповідних змін до календарного плану; чіткий розподіл в часі робіт між виконавцями, що враховує послідовність виконання та індивідуальні особливості кожного договору; можливість постійного контролю стану виконання робіт та оцінки виконання окремого договору.

За рахунок автоматизації формування і корегування варіантів календарного плану та відображення існуючого стану виконання робіт забезпечується оперативність та своєчасність надання послуг клієнтам. Значні затрати часу на збір, узагальнення та обробку даних вручну для формування календарного плану, враховуючи основні аспекти та особливості діяльності подібних підприємств, такі як: велика кількість різних замовлень, можливі індивідуальні вимоги клієнта, наявність фактору виникнення певних змін під час їх виконання, непостійність, варіативність обсягів, відсутність чіткої прогнозованої залежності, нерівномірність навантаження на виробничі підрозділи, призводять до затримок та простоїв у виконанні послуг, а також не дозволяють максимально ефективно розподілити виконання робіт у часі, зважаючи на поточну ситуацію. Розроблювана СППР вирішує дані проблеми і дозволяє зосередитись на аналізі, оцінці та виборі оптимального варіанту, виконуючи усі підготовчі дії та формуючи вже готові варіанти рішень.

## Література

1. Олійник Г. В., Грибков С. В., Литвинов В. А. Задача планування виконання договорів та підходи до її ефективного вирішення. Математические машины и системы. Київ. ІПММС НАНУ. 2015. С. 61—70.

## АРМ В СИСТЕМІ ВІДНОВЛЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН

**Анотація.** Для вироблення загального методологічного підходу до вирішення питань вдосконалення організації технічного сервісу з урахуванням АРМ в системі відновлення працездатності сільськогосподарської техніки був застосований системний підхід. З точки зору системного підходу підприємство технічного сервісу АПК, розглядається як відносно відокремлена структура, що складається з різних елементів, взаємодіючих між собою і з зовнішнім середовищем [1, 2].

**Ключові слова:** автоматизоване робоче місце, відновлення, працездатність, машина.

Аналіз літературних джерел дозволив зробити висновок, що при організації сучасної системи технічного обслуговування та ремонту необхідно враховувати і звертатися до новітніх технологій і розробок у сферах, які вивчають способи збору, обробки, зберігання і передачі інформації, інформаційного забезпечення процесів виробництва і управління.

Створення необхідного інформаційного забезпечення можливо при використанні сучасних методів управління, що базуються на застосуванні математичних методів, сучасної організаційної техніки. Комп'ютеризація виробничої та управлінської діяльності найбільш ефективна при створенні автоматизованих робочих місць (АРМ). Тому нами пропонується один з варіантів створення мережі АРМ сільськогосподарського підприємства з технічного сервісу.

Висока ефективність використання АРМ досягається при об'єднанні їх в єдину обчислювальну мережу. Функціонування таких обчислювальних мереж доцільно на базі ієрархічної структури управління. На нижньому рівні, тобто на підприємствах і організаціях АПК встановлюються персональні комп'ютери, що мають локальний банк даних.

З метою розробки необхідного і достатнього інформаційного забезпечення, що виявляє істотний вплив на вдосконалення технічного сервісу, був проведений огляд руху інформаційних потоків підприємства технічного сервісу.

Таким чином, на основі проведеного аналізу стану технічного сервісу ставиться завдання роботи – розробка питань організації технічного сервісу на основі більш досконалого інформаційного забезпечення АРМ.

У процесі вдосконалення системи технічного сервісу була обрана система, що представляє собою структуру взаємопов'язаних підсистем.

Сукупність взаємодії цих підсистем на базі інформаційного забезпечення дозволяє в підсумку підвищити ефективність використання машин і рівень їх надійності.

З цією метою була виділена підсистема завдань технічного сервісу, показана на рис. 1, на рішення яких істотно впливає розроблене інформаційне забезпечення.

Оскільки технічного обслуговування машин – одна з основних складових загальної структури технічного сервісу, то в роботі основний акцент був зроблений на впровадження інформаційного забезпечення в систему технічного обслуговування техніки.

Дослідження технологічного процесу та принципів організації системи технічного обслуговування дозволили зробити висновок, що, як і в будь-якій виробничій системі, в системі технічного обслуговування можна виділити власне діяльність, що представляє собою обслуговує вплив і управління, і підсистему інформаційного забезпечення.

Експериментальні дослідження [3] показали, що частка інформаційного забезпечення у всьому обслуговуючому впливі складає близько 15%, а частка інформаційного забезпечення в процесі прийняття рішення становить не менше 80%.

За рахунок раціонального використання інформаційних потоків можна скоротити час обслуговуючого впливу і процесу ухвалення рішення в середньому на 20-25%, і підвищити якість експлуатованої техніки.

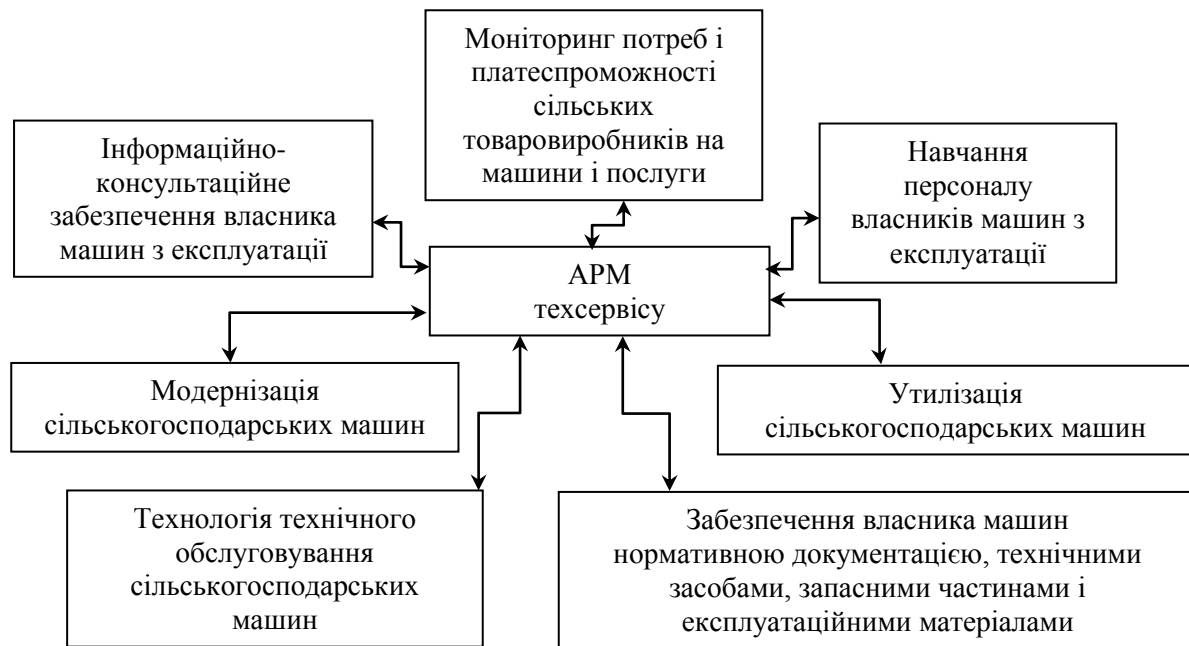


Рисунок 1 – Взаємозв'язок інформаційного забезпечення і завдань технічного сервісу

Комплексна система технічного обслуговування машин в сільському господарстві максимально орієнтована на стратегію проведення обслуговуючих впливів станом, з періодичним або безперервним контролем (діагностування), що є найбільш ефективною. Використання цієї стратегії із застосуванням безрозбірного діагностування сприятиме збільшенню середнього ресурсу до ремонту, усунення непередбачених відмов і вторинних поломок, скорочення обсягу запасних частин, зменшення тривалості ремонтів, підвищення безпеки працюючих і продуктивності виробничих процесів.

Стратегія – за результатами діагностування вузлів і з'єднань вимагає впровадження сучасних інформаційних технологій на всіх рівнях виробництва, починаючи з бортової електроніки машини і закінчуючи інформаційною системою, що охоплює всі структури АПК.

Проведений аналіз інформаційного середовища підприємств агропромислового комплексу, структури потоків інформації, виявлених вимог до формування і руху інформації дозволив в укрупненому вигляді скласти класифікацію інформаційних потоків підприємства технічного сервісу.

**Висновок.** В ході дослідження виробничої діяльності підприємств технічного сервісу рекомендується використовувати локальні комп'ютерні мережі, що включають в себе АРМ фахівців, що дозволяє здійснювати оперативне керівництво всіма ланками техпроцесу з обслуговування машин.

### Література

1. Rogovskii I. L., Melnyk V. I. Analyticity of spatial requirements for maintenance of agricultural machinery. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2016. Вип. 251. С. 400—407.
2. Rogovskii I. L. Analysis of model of recovery of agricultural machines and interpretation of results of numerical experiment. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2016. Вип. 254. С. 424—431.
3. Rogovskii Ivan. Граф-моделирование при восстановлении работоспособности сельскохозяйственных машин. Motrol : Motorization and power industry in agriculture. Lublin. 2016. Т. 18. №3. Р. 155—164.

**Савченко Є. А.**, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,  
Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій та систем  
**Степашко В. С.**, доктор технічних наук, професор,  
Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій та систем  
**Токова О. В.**,  
Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій та систем

## **ЗАДАЧА КОНСТРУЮВАННЯ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ У ЛИВАРНОМУ ВИРОБНИЦТВІ**

**Анотація.** Наведено опис комп'ютерної технології моніторингу та інформаційної підтримки прийняття рішень у ливарному виробництві на основі знання-орієнтованого підходу, призначеної для комплексного вирішення всієї сукупності завдань ливарника у процесі лиття.

**Ключові слова:** лиття, підтримка прийняття рішень, температурний режим охолодження, індуктивне моделювання.

Дослідження спрямоване на розроблення комп'ютерної технології моніторингу та інформаційної підтримки рішень у ливарному виробництві на основі знання-орієнтованого підходу, призначеної для комплексного вирішення всієї сукупності завдань ливарника у процесі лиття на вітчизняному обладнанні, що використовується для дрібносерійного виливання металевих виробів. Метою дослідження є вирішення актуальної проблеми підвищення ефективності, обґрунтованості та якості прийняття рішень у процесах ливарного виробництва на маломасштабних ливарних установках за рахунок розроблення і використання сучасних методів і засобів комплексного інтелектуального аналізу поточної інформації про стан цих процесів в умовах ситуації, що постійно змінюється. Пропонована технологія буде складатися з таких підсистем:

- аналіз наявної сировини і надання рекомендацій щодо її доцільного використання;
- цільовий підбір складових сировини для конкретного виду ливарної продукції;
- підтримка вибору і коригування режиму охолодження в реальному часі;
- моделювання впливу режимів роботи ливарної установки на якість продукції;
- вітчизняна база даних металів і сплавів.

В основу системи буде покладено концепцію наскрізного інформаційного супроводу всього процесу прийняття рішень ливарником під час виготовлення металевого вилівка з визначеним цільовим призначенням. Це передбачає комп'ютерне підтримання таких функціональних задач: аналіз наявних у базі даних характеристик металів та сплавів та типових режимів їх виготовлення; експрес-аналіз складу наявної сировини (металобрухту) та домішок, щоб отримати висновок щодо їх достатності для цільового виробу; автоматизовані рекомендації щодо режиму плавлення та вистигання розплаву на конкретній установці; моніторинг характеристик процесу плавлення та вистигання розплаву; прогнозування якості вилівка за результатами моніторингу; коригування параметрів режиму роботи установки за результатами прогнозування; аналіз відповідності кінцевого продукту заданим цільовим властивостям.

### **Література**

1. Stepashko V., Samoilenko O., Voloschuk R. Informational Support of Managerial Decisions as New Kind of Business Intelligence Systems. Computational Models for Business and Engineering Domains, G. Setlak, K. Markov (Eds.). Rzeszow. Poland. Sofia. Bulgaria. ITNEA. 2014. 269-279.
2. Токова О. В., Савченко Є. А. Підхід до розроблення системи інформаційної підтримки рішень у ливарному виробництві. Індуктивне моделювання складних систем. Київ. МННЦ ІТС. Вип. 8. 2016. С. 194—202.
3. Савченко Є. А., Кравченко О. В. Застосування індуктивного підходу для моделювання процесу охолодження вилівка за експериментальними даними. Індуктивне моделювання складних систем. Київ. МННЦ ІТС. Вип. 6. 2014. С. 126—136.

Соколовська Н. І., заступник директора Департаменту з питань взаємодії з Верховною Радою України, іншими державними органами Секретаріату Кабінету Міністрів України, завідувача відділом аналітичної роботи та зв'язків з народними депутатами України

## СТВОРЕННЯ СИСТЕМИ ОБЛІКУ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ В АСПЕКТІ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ БЕЗПЕКИ ДЕРЖАВИ І РЕГІОНІВ. ДЕЯКІ НОРМАТИВНО-ПРАВОВІ АСПЕКТИ

**Анотація.** Політика енергозаощадження має стати стратегічним сценарієм виведення країни на рівень максимальної енергетичної незалежності у 2025 році, відповідно з проектом Енергетичної стратегія України на період до 2035 року: «безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність». Забезпечення повноти та прозорості обліку всіх форм енергії набуває визначального значення. Найбільш проблемним є забезпечення обліку на ринку природного газу. Для контролю паливно-енергетичного балансу країни і впровадження ефективних енергозберігаючих технологій необхідна єдина система обліку та контролю споживання енергоресурсів, що має бути врегульовано законодавством [1–3].

**Ключові слова:** комерційний облік, енергетичні ринки, паливно-енергетичний баланс, органи державного управління.

Метою тези є аналіз достатності нормативно-правового регулювання сфері комерційного обліку енергоресурсів в Україні та пошук шляхів вдосконалення правового забезпечення у цій сфері, включаючи створення автоматизованої системи обліку та контролю споживання енергоресурсів на регіональному та загальнодержавному рівні.

Сьогодні в Україні впроваджується автоматизована система комерційного обліку електричної енергії (АСКОЕ). Надання послуг комерційного обліку здійснюється постачальниками послуг комерційного обліку електричної енергії, адміністратором комерційного обліку [2, 3].

Верховною Радою України прийнято Закону України «Про ринок електричної енергії України», який направлено на підпис Президенту України.

Правовою основою забезпечення комерційного обліку природного газу є прийнятий 16 червня 2011 року Закон України «Про забезпечення комерційного обліку природного газу», який передбачає до 1 січня 2018 року досягти 100-відсоткового обліку в Україні, однак для цього потрібно ще встановити близько 5 мільйонів газових індивідуальних лічильників. В рік встановлюється близько 300 000 лічильників на газ. Облгзам дозволили встановлювати загальнобудинкові лічильники природного газу.

Крім того, облік природного газу в країнах ЄС здійснюється не в одиницях об'єму, а в одиницях енергії. Перспективною є пропозиція щодо створення Єдиної бази абонентів-споживачів природного газу та визначення адміністратора, який буде відповідальним за її ведення.

Україна анонсувала створення ринку житлово-комунальних послуг. Для того, щоб створити такий ринок, потрібно, щоб був 100-відсотковий облік. За інформацією Голови НКРЕКП, рівень обліку за 2016 рік зріс в 1,5 раза до 54%, а вже схвалені інвестиційні програми передбачають досягнення 87% оснащення обліком.

У зв'язку з прийняттям Закону України «Про Національну комісію, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг» від 22.09.2016 № 1540-VIII, до повноважень якої згідно статті 17 належить здійснення моніторингу та аналізу ринків у сферах енергетики та комунальних послуг, доцільно створити структурний або окремий підрозділ лише при цьому органі – незалежному регуляторі.

НКРЕКП в змозі реально узгодити зо всіма суб'єктами природних монополій енергетичних ринків єдину нормативно-методичну базу, що забезпечує достовірність і порівнянність вимірів, звітної інформації та результатів обробки інформації; єдині правила створення і ведення баз даних.

### **Висновки**

Шлях до 100-% обліку енергоресурсів на сьогоднішній день має пріоритетне значення в аспекті енергетичної безпеки України. Держава має мобілізувати необхідні ресурси для вирішення цього питання до 01.01.2018 року.

Найбільш проблемним є забезпечення обліку на ринку природного газу.

Необхідне постійне вдосконалення законодавчого регулювання на енергетичних ринках у сфері забезпечення 100-% обліку енергоресурсів.

Для контролю паливно-енергетичного балансу країни і впровадження ефективних енергозберігаючих технологій необхідна єдина система обліку та контролю споживання енергоресурсів.

У зв'язку з набуттям чинності Закону України «Про Національну комісію, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг» доцільно створити структурний або окремий підрозділ лише при цьому органі – незалежному регуляторі НКРЕКП з метою створення автоматизованої системи обліку енергоресурсів (АСОЕР) за єдиними правилами ведення баз даних.

### **Література**

1. Стогній Б. С., Кириленко О. В., Денисюк С. П. Енергетична безпека України. Світові та національні виклики. Київ. Українські енциклопедичні знання. 2006. 408 с.
2. Суходоля О. М. Енергоефективність економіки в контексті національної безпеки: методологія дослідження та механізми реалізації: монографія. Київ. 2006. 400 с.
3. Проект Енергетичної стратегія України на період до 2035 року: безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність. [www.mre.kmu.gov.ua](http://www.mre.kmu.gov.ua).

**Тітова Л. Л.**, кандидат технічних наук  
Національний університет біоресурсів і природокористування України  
**Роговський І. Л.**, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,  
Національний університет біоресурсів і природокористування України

## АРМ І ЧИННИКИ ПРОДУКТИВНОСТІ ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ МАШИН ДЛЯ ЛІСОТЕХНІЧНИХ РОБІТ

**Анотація.** Виконаний аналіз науково-технічної, нормативної, інструктивної, методичної і довідникової літератури дозволив встановити відсутність єдиного науково-обґрунтованого підходу до визначення продуктивності в техсервісних підприємствах лісопромислового комплексу.

**Ключові слова:** автоматизоване робоче місце, відновлення, працездатність, машина.

В результаті аналізу та узагальнення матеріалів паспортизації та спеціалізації техсервісних підприємств, виконаних обсягів техсервісних робіт і послуг, затрат праці та витрат матеріалів на роботи і послуги по майстернях загального призначення та спеціалізованих підприємствах виявлені чинники, які впливають на продуктивності техсервісного підприємства. При визначенні продуктивності техсервісного підприємства, слід враховувати: вартість устаткування; виробничу площу; чисельність працюючих; обсяг виробленої продукції (ремонтів і ТО лісових тракторів, самохідних лісових машин та інших лісогосподарських машин); вартість виробленої продукції (ремонтів і ТО лісових тракторів, самохідних лісових машин та інших лісогосподарських машин); затрати праці на ремонти і ТО лісових тракторів, самохідних лісових машин та інших лісогосподарських машин; загально-виробничі витрати; амортизацію будівель і устаткування; витрати електроенергії; витрати паливно-мастильних матеріалів; витрати на утримання устаткування; витрати на ремонт устаткування; витрати на оплату послуг і робіт сторонніх організацій; витрати на збут.

Виявлені чинники продуктивності згруповані в таблиці.

Таблиця

Основні чинники, які впливають на продуктивність техсервісних підприємств

№ п/п	Шифр	Найменування чинників	Одиниця виміру
1	X <sub>1</sub>	Площа лісоділянок (для підприємств)	га
2	X <sub>2</sub>	Наявна чисельність тракторів і лісової техніки, всього у т. ч.:	шт.
3	X <sub>2,1</sub>	наявна чисельність лісових тракторів,	шт.
4	X <sub>2,2</sub>	самохідних машин,	шт.
5	X <sub>2,3</sub>	посівної, садильної, ґрунтообробної та іншої лісової техніки	шт.
6	X <sub>3</sub>	Наявна кількість лісової техніки, яка потребує ремонту, всього у.т.ч.	шт.
7	X <sub>3,1</sub>	чисельність лісових трактори	шт.
8	X <sub>3,2</sub>	чисельність самохідних машин	шт.
9	X <sub>3,3</sub>	чисельність посівної, садильної і ґрунтообробної техніки	шт.
10	X <sub>4</sub>	Середньорічна кількість відпрацьованих мото.- годин до ремонту на один трактор	мото-год. /трактор
11	X <sub>5</sub>	Виріток га на одну самохідну машину	мото-год. /машину
12	X <sub>6</sub>	Проектна потужність майстерні, у т.ч.:	
13	X <sub>6,1</sub>	проектна річна кількість умовних ремонтів	шт.
14	X <sub>6,2</sub>	планова річна вартість ремонтів,	тис. грн.
15	X <sub>7</sub>	Загальна площа земельної ділянки майстерні	м <sup>2</sup>
16	X <sub>8</sub>	Вартість земельної ділянки майстерні	тис. грн.

Продовження табл.

№ п/п	Шифр	Найменування чинників	Одиниця виміру
17	X <sub>9</sub>	Виробнича площа майстерні	м <sup>2</sup>
18	X <sub>10</sub>	Балансова вартість ремонтної майстерні	тис. грн
19	X <sub>11</sub>	Кількість устаткування майстерні	шт.
20	X <sub>12</sub>	Вартість устаткування майстерні,	тис. грн.
22	X <sub>13</sub>	Середньорічна чисельність працюючих	чол.
23	X <sub>14</sub>	Чисельність постійно працюючих,	чол.
24	X <sub>15</sub>	Обсяг виробленої продукції, всього у т.ч.:	шт..
25	X <sub>15.1</sub>	ремонт тракторів,	шт.
26	X <sub>15.2</sub>	ремонт самохідних машин,	шт.
27	X <sub>15.3</sub>	ремонт посівної, садильної і ґрунтообробної техніки;	шт.
28	X <sub>16</sub>	Вартість виробленої продукції, робіт, послуг, всього	тис. грн.
29	X <sub>16.1</sub>	вартість ремонту лісових тракторів,	тис. грн.
30	X <sub>16.2</sub>	вартість ремонту самохідних машин,	тис. грн.
31	X <sub>16.3</sub>	вартість ремонту посівної, садильної і ґрунтообробної техніки	тис. грн.
32	X <sub>17</sub>	Затрати праці, всього у т.ч.:	люд. год.
33	X <sub>17.1</sub>	затрати праці на ремонт лісових тракторів	люд. год.
34	X <sub>17.2</sub>	затрати праці на ремонт самохідних машин	люд. год.
35	X <sub>17.3</sub>	затрати праці на ремонт посівної, садильної і ґрунтообробної техніки	люд. год.
36	X <sub>18</sub>	Загально виробничі витрати	тис. грн.
37	X <sub>19</sub>	Амортизація будівель	тис. грн.
38	X <sub>20</sub>	Амортизація устаткування	тис. грн.
39	X <sub>21</sub>	Витрати електроенергії	тис. грн.
40	X <sub>22</sub>	Витрати паливно-мастильних матеріалів	тис. грн.
41	X <sub>23</sub>	Витрати на утримання і ТО устаткування	тис. грн.
42	X <sub>24</sub>	Витрати на ремонт устаткування	тис. грн.
43	X <sub>25</sub>	Витрати на утримання земельної ділянки майстерні	тис. грн.
44	X <sub>26</sub>	Витрати на оплату послуг і робіт	тис. грн.
45	X <sub>27</sub>	Виручка від реалізації	тис. грн
46	X <sub>28</sub>	Витрати на рекламу і збут	тис. грн.

Узагальнені результати досліджень фактичних значень чинників продуктивності ремонтних підприємств введені для накопичення і оброблення на ПК методами математичного моделювання з використанням програми «Аналіз».

Наступний етап робіт передбачає введення в базу даних АРМ матеріалів досліджень отриманих з техсервісних підприємств та виконати перевірку вхідних фактичних значень чинників, введених в базу даних. Для виявлення впливу чинників: X<sub>15</sub> – обсяг виробленої продукції, всього, шт.; X<sub>15.1</sub> – обсяг виробленої продукції при ремонті тракторів, шт.; X<sub>15.2</sub> – обсяг виробленої продукції при ремонті комбайнів, шт.; X<sub>15.3</sub> – обсяг виробленої продукції при ремонті техніки, шт. – на продуктивність техсервісних підприємств необхідно визначити поправочні коефіцієнти для кожного з чинників X<sub>15.1</sub>, X<sub>15.2</sub>, X<sub>15.3</sub> з урахуванням видів ремонту. За результатами виконаних досліджень будуть визначені аналітичні залежності, коефіцієнти та чинники, які необхідно враховувати при визначенні продуктивності техсервісних підприємств.

**Висновок.** Аналіз науково-технічної, нормативної, інструктивної, методичної і довідникової літератури не виявив єдиного науково-обґрунтованого підходу визначення впливу чинників на продуктивність техсервісних підприємств обслуговуючих галузей агропромислового комплексу.

Виконані дослідження дозволили виявити основні чинники x<sub>1</sub>, x<sub>2</sub>, ..., x<sub>n</sub>, які характеризують роботу і впливають на продуктивність техсервісних підприємств. Використання розробленої програми АРМ та системи «Норма» дозволили автоматизувати збір і оброблення вихідних даних з техсервісних підприємств.



Чорнобай К. Ю., студент,  
Національний університет харчових технологій  
Грибков С. В., кандидат технічних наук, доцент,  
Національний університет харчових технологій

## СИСТЕМА БІОМЕТРИЧНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

**Анотація.** В роботі проведено дослідження методів і підходів по створенню бюджетної системи біометричної ідентифікації. Система буде мати архітектуру клієнт-сервер, клієнтська частина буде кроссплатформенною та орієнтована для мобільних пристроїв. Для обробки зображення буде використовуватися бібліотека з відкритим кодом Open Source Computer Vision Library та більшу частину по ідентифікації буде здійснюватися з використанням нейронних мереж.

**Ключові слова:** системи захисту, біометрична ідентифікація, обробка зображення, нейронні мережі.

Із зростанням розвитку та початку впровадження інформаційних технологій в усі сфери життя та діяльності людини все актуальнішими стають проблеми захисту інформації, адже з кожним роком зростають втрати від несанкціонованого доступу до комерційної та конфіденційної інформації. В більшості випадків втрати інформації причиною є людський фактор, бо користувач, який має доступ до інформації, може втратити засоби для ідентифікації особи (логіни та паролі, картки доступу, електронні засоби ідентифікації, та ін.) або їх можуть викрасти чи підробити.

Дослідження, що проводяться в провідних наукових центрах усього світу протягом декількох десятиліть, та розробки набули високих результатів у напрямках ідентифікації за відбитками пальців та райдужної оболонки ока, що використовуються у різних системах захисту та ідентифікації людей.

Тому найбільш ефективним засобом ідентифікації є використання біометричних методів та засобів ідентифікації, адже підробити користувача неможливо. Сьогодні одним із актуальних напрямків біометричної ідентифікації є ідентифікація за обличчям людини, а також існує чимало методів ідентифікації за геометрією обличчя особи, в основі яких покладена ідея того, що риси обличчя і форма черепа кожної людини індивідуальні. [1].

Впровадження біометричних засобів ідентифікації потребують багато вкладень у апаратно-технічні засоби, тому доступні не усім державним та приватними установам. З розвитком мобільних електронних пристроїв стає можливість використовувати їх в якості зчитувальних засобів для ідентифікації. Крім цього, певні фірми виробники мобільних пристроїв обладнують свої пристрої засобами ідентифікації за відбитками пальців, голосом, обличчям. Тому виникає задача створити доступну інформаційну систему для ідентифікації за обличчям типу клієнт-сервер. Серверна частина буде забезпечувати функціонування бази даних зображень облич, модулів ідентифікації та ведення статистики ідентифікацій. Клієнтська частина буде реалізована в якості кроссплатформенного додатку, що буде забезпечувати зчитування зображення обличчя, формування відправлення фото до серверної частини для ідентифікації та отримання відповіді про її результат. Планується впровадження клієнтського додатку на мобільних пристроях під управлінням операційної системи сімейства Android та обладнаних фотокамерою, а також на комп'ютерах різної архітектури з підключеною веб-камерою під управлінням операційних сімейств Windows або Linux. Основною задачею є розробка бюджетної системи ідентифікації. Для обробки зображення буде використовуватися бібліотека з відкритим кодом Open Source Computer Vision Library (OpenCV), що забезпечує роботу з пристроями зчитування та обробку зображення. Ця бібліотека була створена компанією Intel®, щоб затвердити загальний стандартний інтерфейс комп'ютерного зору для програмних продуктів в цій області та для сприяння їх більшого розвитку, а також для створення нових моделей використання персональних комп'ютерів. Модулі бібліотеки OpenCV

забезпечують [3]: функції введення/виведення при роботі з стандартними пристроями так і цифровими пристроями фото та відео зйомки; виконання алгоритмів фільтрації та перетворення обробки зображення; повний цикл використання методів інтелектуального аналізу для обробки зображення; визначення та опис плоских примітивів; аналіз руху об'єкту та його відстеження; реалізації більшості алгоритмів пошуку об'єктів на зображенні; управління пристроями зчитування відеоінформації; обробка трьохвимірних об'єктів.

Основним алгоритмом ідентифікації людини на основі зображення її обличчя буде послідовність наступних кроків: виявлення факту присутності людини на зображенні; виділення контуру фігури людини; визначення ракурсу голови (анфас, профіль); виділення з зображення обличчя основних параметрів за шаблонами; порівняння параметрів з еталонами та ідентифікація.

Для реалізації основних кроків алгоритму буде достатньо функціоналу бібліотеки OpenCV, але на думку авторів, для ідентифікації користувачів за зображенням обличчя доцільно використовувати метод нейронних мереж, що дозволяє вирішувати складні завдання по ідентифікації візуальних та аудіо образів. Нейронні мережі базуються на паралельній обробці інформації і мають здатність до самонавчання, тобто отримувати обґрунтований результат на підставі даних, що не зустрічалися в процесі навчання. До властивостей та переваг нейронних мереж доцільно віднести: масовий паралелізм; розподілене представлення інформації і обчислення; можливість самонавчання та схильність до виділення загальних характеристик; дозволяє пристосовуватися до різних вхідних даних та задач; при наявності певних відхилень чи помилок дає ефективний результат; мінімальні вимоги. Основними параметрами при аналізі зображення обличчя людини будуть наступні: основні контури обличчя, очей, брів, рота, носа, що є характерними і подібними для усіх людей, але не однаковими, та слугують для побудови певної карти контурів для первинної ідентифікації та характеризуються яскравими переходами на зображенні; яскравість, що дає змогу виявити основні контури, а також виявити особливості кожної людини при однакових умовах освітлення; колір, що слугує точною ознакою об'єкта за рахунок того, що несе додаткову інформацію про відтінок шкіри.

На основі проведених досліджень методів та підходів по створенню бюджетної системи біометричної ідентифікації розпочато розробку такої системи. Система має архітектуру клієнт-сервер. Клієнтська частина буде кроссплатформенною та орієнтована в першу чергу на використання мобільних пристроїв з камерами. Для обробки зображення буде використовуватися бібліотека з відкритим кодом Open Source Computer Vision Library, що створена була саме для роботи з пристроями відео зйомки та складної обробки зображень, а також має модулі по ідентифікації об'єктів. Для ідентифікації обличчя пропонується використовувати метод нейронних мереж, що також створюється авторами.

Використання створеної системи біометричної ідентифікації дуже широка та орієнтована на державні та комерційні об'єкти з обмеженим фінансуванням, такі як дитячі садочки, школи, університети, лікарні та ін. Одним з напрямків використання даної системи є використання її для аутентифікації в сучасних web-додатках та для доступу до комерційних бездротових локальних мереж Wi-Fi, що стане додатковим захистом від несанкціонованого доступу.

### Література

1. Вакуленко А., Юхин А. Биометрические методы идентификации личности: обыкновенный выбор. Сборник научных трудов I Международной научно-практической конференции "Мировой опыт применения биометрических решений в составе комплексных систем безопасности". Киев. Информация-Украина. 2006. С. 79—82.
2. Фисенко В. Т., Фисенко Т. Ю. Компьютерная обработка и распознавание изображений: учебное пособие. Санкт-Петербург. СПбГУ ИТМО. 2008. 192 с.
3. Bradsky G., Kaehler A. Learning OpenCV. O'Reilly. 2008. 508.

Казьмірович О. Р., кандидат технічних наук, доцент, Українська академія друкарства  
Казьмірович Р. В., доктор технічних наук, професор, Українська академія друкарства

## ДЕ-ЯКІ ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИРОБНИЧОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ CIP4/JDF ДЛЯ ВИРОБНИЦТВ КНИЖКОВИХ ВИДАНЬ

**Анотація.** Розглядаються деякі теоретичні та практичні методи, щодо вдосконалення концепцій міжнародного стандарту CIP4/JDF та систем автоматизованого керування поліграфічними машинами при виготовленні книжкових видань.

**Ключові слова:** цифровий робочий потік, CIP4/JDF, аркушеві друкарські машини, приведення фарб, після друкарські процеси, фальцювальні мітки.

**Постановка проблеми.** Одним з основних пріоритетних напрямків розвитку поліграфічної галузі є створення цифрового багаторівневого методу організації виробництва з інтеграцією додрукарських, друкарських та післядрукарських процесів усередині друкарні – так званий цифровий потік робіт (digital workflow), а однією з основних невирішених проблем створення ефективних комп'ютерно-інтегрованих виробництв є, зокрема, проблема узгодження (стикування) друкарських процесів з післядрукарськими за параметрами точності макророзмірів книжкових видань та напівфабрикатів.

**Метою роботи** є розвиток теоретичних основ та практичних методів контролю та регулювання якості друку на аркушевих друкарських машинах (АДМ) за параметрами точності суміщення фарб й позиціонування фарбовідбитків на аркушах, з позицій спрощення інтеграції післядрукарських процесів у загальний цифровий робочий потік для виробництв книжкових видань.

**Викладення суті дослідження.** Робота сучасних друкарень стає все складнішою: тиражі продукції постійно зменшуються, при цьому збільшується кількість замовлень. У такій ситуації важливим є скорочення часу на приладку та настроювання поліграфічного обладнання, прискорення процесу здійснення замовлення та полегшення диспетчеру роботи з планування виробничого процесу. Все це можливо із збільшенням рівня автоматизації виробництва та інтеграції різних виробничих ділянок у єдиний виробничий процес.

Однак, для того щоб обладнання з різних виробничих стадій могло обмінюватись інформацією, а також для взаємодії із обладнанням різних виробників необхідний універсальний стандарт обміну даних. Отож на початковій стадії чотири відомі компанії такі як Adobe, Agfa, Heidelberg та MAN Roland розробили такий стандарт. Він називається JDF (Job Definition Format) і охоплює всі стадії поліграфічного виробництва, починаючи від прийняття замовлення та закінчуючи відвантаженням готової продукції клієнту. Цей новий формат базується на використанні мови розміток XML, що дозволяє зробити JDF-файл компактнішим та гнучкішим. В єдиному файлі, знаходиться вся інформація про необхідні операції на різних стадіях здійснення замовлення, інформація про необхідні настроювання (формат паперу, параметри кольороподілу, трепінг, фарбові профілі, мітки фальцювання тощо). Управлінські інформаційні програми здатні за допомогою цього формату отримувати інформацію про статус роботи, проводити планування виробничого процесу, здійснювати калькуляцію та післякалькуляцію замовлення. Формат JDF прийнятий консорціумом CIP4 - International Cooperation for the Integration of Process in Prepress, Press, Postpress (міжнародний консорціум в області інтеграції процесів в додрукарській, друкарській та післядрукарських стадіях) [2,3], як поліграфічний стандарт опису робочих завдань. Організаціями-учасниками даного консорціуму є розробники поліграфічного устаткування, програмного забезпечення та комп'ютерної периферії, поліграфічні підприємства, користувачі поліграфічної техніки та послуг, наукові інститути й галузеві організації, які займаються технічною проблематикою виробничих процесів у поліграфії. Як виробнича технологія CIP4/JDF відноситься до групи технологій CIM (Computer Integrated Manufacturing – комп'ютерно-інтегроване виробництво). Спостерігається

інтенсивне зближення стандартів і технологій спряження (інтерфейсів) різних апаратних та програмних засобів автоматизації, які застосовують як в рамках одного рівня автоматизації так і при зв'язку одного рівня з іншим. Це дозволить об'єднати в одну систему устаткування від різноманітних виробників. На сьогодні членами міжнародного консорціуму CIP4 є більше 270 фірм світу, і призначенням якого, зокрема, є стимулювання комп'ютерної інтеграції всіх процесів, які можуть бути розглянуті в поліграфічній галузі виробництва. Зарубіжне поліграфічне обладнання, яке розроблене відповідно до стандарту CIP4/JDF, вже успішно експлуатується у друкарнях України.

У роботі проведено огляд основних тенденцій розвитку систем керування технологічними об'єктами та устаткуванням у поліграфічній галузі та систем автоматизованого контролю точності суміщення й позиціонування фарбовідбитків на аркушах у аркушевих друкарських машинах.

Автоматичний контроль та регулювання точності суміщення фарбовідбитків на аркушевих друкарських машинах відбувається відносно віддрукованої заданої (базової) мітки певного кольору [1]. Такий спосіб має ряд недоліків, одна серед яких відсутність можливості контролю та регулювання точності позиціонування фарбовідбитків фальцювальних і корінцевих міток на задану координату аркуша, що унеможливує автоматизацію операцій попереднього настроювання на формат фальцювальних машин.

Наведена каркасна геометрична модель розташування корінцевих міток на фальцях зошита за товщиною книжкового блока та методику розрахунку результуючого ентропійного значення її похибок для зошитів різного типу. Висока точність розташування корінцевих міток на фальцях зошитів, зокрема, також сприяє підвищенню надійності контролю правильності комплектування книжкових блоків на підбиральних машинах.

У зв'язку з вищенаведеним запропонований новий спосіб контролю та регулювання точності суміщення фарб і позиціонування фарбовідбитків на задану координату аркуша в аркушевих друкарських машинах [1] та розроблена інформаційна модель цифрового робочого потоку післядрукарських процесів на основі якої, проведено оцінку ефективності запропонованих методів та способів підвищення точності та продуктивності автоматизованого настроювання на формат поопераційного обладнання при виготовлення книжкових видань.

**Висновки.** Отже запропонований спосіб контролю та регулювання точності суміщення фарб і позиціонування фарбовідбитків на задану координату аркуша в друкарських машинах, який забезпечує безпосереднє попереднє налагодження фальцювальних машин на формат книжкового видання, виключаючи необхідність проведення додаткових технологічних операцій ручного трудомісткого візуального вимірювання координат розташування корінцевих міток, що в цілому забезпечує зростання рівня автоматизації технологічних процесів, а відтак підвищення ефективності виробничої інформаційної технології CIP4/JDF для виробництв книжкових видань та також відкриває нові шляхи підвищення якості кольоровідтворення фарбовідбитків.

### Література

1. Казьмірович Р. В., Казьмірович О. Р. Розробка математичних моделей для нового способу контролю точності суміщення та позиціонування фарбовідбитків на аркушах. Технологічні комплекси. Науковий журнал. 2014. №1(9). С. 47—51.
2. Киппхан Г. Энциклопедия по печатным средствам информации. Технологии и способы производства. Москва. МГУП. 2003. 1280 с.
3. Матеріали сайтів [Електронний носій]. Режим доступу: [www.CIP4.org](http://www.CIP4.org) ; [www.heidelberg.com](http://www.heidelberg.com), [www.kba-print.de](http://www.kba-print.de), [www.man-roland.de](http://www.man-roland.de).

Литвин А. О., студент, Національний університет харчових технологій  
Струзік В. А., аспірант, Національний університет харчових технологій  
Грибков С. В., кандидат технічних наук, доцент, Національний університет харчових технологій

## ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ І ПІДХОДІВ ПРОВЕДЕННЯ РЕФАКТОРИНГУ БАЗ ДАНИХ

**Анотація.** В роботі проведено дослідження методів і підходів проведення рефакторингу баз даних. Досліджено основні ознаки при яких необхідно проводити рефакторинг баз даних, а також розглянуто основні операції рефакторингу.

**Ключові слова:** рефакторинг, бази даних, інформаційні системи.

На різних етапах життєвого циклу будь-якого програмного забезпечення виникає задача рефакторингу його елементів та складових з метою підвищення ефективності та якості його функціонування, оптимізації кінцевого продукту, забезпечення сумісності з підходами інших розробників.

На даний момент підходи рефакторингу програмного коду описані в більшості фундаментальних літературних джерелах, існують багато підходів та автоматизованих програмних засобів для його проведення. Процес рефакторингу програмного коду в теорії не чим не відрізняється від практичного застосування [1].

Але особливу увагу необхідно виділити рефакторингу баз даних, що направлений на підвищення ефективності роботи з нею із забезпеченням збереження її функціональної та інформаційної семантики. Необхідно відмітити, що проведення рефакторингу бази даних залежить від того, на якій стадії знаходиться програмне забезпечення, адже чим ближче воно до стадії впровадження та експлуатації, тим буде складнішим та займати більше часу. Рефакторинг баз даних набагато складніший, ніж рефакторинг програмного коду, тому що [1-2]: база даних містить у собі структуровані данні, збережені у відповідності з певною схемою; програмні конструкції, такі як збережені процедури та тригери, що забезпечують виконання бізнес-логіки. Рефакторинг збережених програмних конструкцій у базі даних здійснюється за стандартними підходами рефакторингу програмного коду та підлягає автоматизованому тестуванню. Але будь-які зміни у базі даних стосуються не тільки форматів та структур збереження інформації в ній, а впливають на підходи та функціонал програмного забезпечення у цілому. Особливу проблему при рефакторингу бази даних створюють наявні данні в ній.

Основними причинами проведення рефакторингу баз даних є наявність в ній наступних недоліків [2]: багатоцільові стовпці, що використовуються в декількох цілях та в різних додатках; багатоцільові таблиці, що використовуються для зберігання даних про сутності декількох різних типів; надлишковість даних, що є суттєвою проблемою в повсякденній експлуатації бази даних, оскільки при зберіганні одних і тих же даних в декількох місцях виникає ймовірність порушення відповідності та узгодженості; таблиць з великою кількістю стовпців, що може свідчити про те що поля можуть відноситись до різних сутностей; багатозначні стовпці, що вміщують в різних позиціях кілька різних фрагментів інформації; багатозначні стовпці, всередині яких в різних позиціях представлено кілька різних фрагментів інформації.

При проведенні рефакторингу бази даних не повинно відбуватися додавання нових функціональних можливостей або порушуватися робота існуючих, а також не повинні додаватися нові дані або змінюватися існуючі, але при цьому можливі зміни як у схемі бази даних так і в модулях забезпечення бізнес-логіки обробки інформації, тому що вони прив'язані до схеми [1]. Також необхідно відмітити, що іноді необхідно провести достатньо глибокий рефакторинг, що буде стосуватися дуже суттєвих змін з метою оптимізації та вдосконалення, при збереженні функціональності програмного забезпечення.

При проведенні рефакторингу баз даних доцільно виділити 6 основних категорії операцій, що розподілені за наступними напрямками покращення: структури; якості даних; зв'язків та

цілісності; архітектури; методів; перетворення, що не входять до операцій рефакторингу. Доцільно розглянути кожен категорію окремо.

Операції рефакторингу структури направлені на зміну структур однієї чи декількох таблиць або представлень. Прикладом такої операції може бути переміщення стовпця з однієї таблиці в іншу або розбиття багатоцільового стовпчика на кілька окремих стовпців, кожен з яких виконує окреме призначення.

Операції рефакторингу направлені на якість даних в першу чергу повинні забезпечити ефективність збереження та роботи з такими даними, що досягається за рахунок додавання правил валідації, форматів введення даних, забезпечення неможливості залишати порожніми поля та використання значень за замовчуванням та ін.

Проведення операції рефакторингу направлених на зв'язки та цілісність даних забезпечують зв'язаність даних, що знаходяться в різних таблицях зв'язаних різними видами зв'язків. При таких операціях доцільним є створення тригерів для: реалізації каскадного типу зв'язку; ведення історії проведених операцій; збереження видалених чи змінених записів у додаткових таблицях та ін.

Операції рефакторингу архітектури направлені на розбиття складних операцій бізнес-логіки, що реалізовані у клієнтських додатках, на простіші та реалізації їх у збережених процедурах та функціях, що дозволяє уніфікувати подальше їх використання у різних програмних модулях та додатках.

Операції рефакторингу методів полягає у модифікації збережених процедур, функцій та тригерів направлених на оптимізацію та покращення якості їх виконання. При виконанні даних операцій діють правила рефакторингу програмного коду, але необхідно враховувати усі наслідки таких змін. Найпростішими прикладами є зміна назв збережених процедури з метою спрощення розуміння її призначення, а більш складним прикладом може бути заміна алгоритму обробки інформації.

Остання група операцій перетворення, що не входять до операцій рефакторингу, направлена на зміну її семантики, адже вони можуть бути виправдані тільки в тому разі, якщо узгоджуються із замовником програмного забезпечення.

Для проведення успішного рефакторингу баз даних необхідно дотримуватися наступних нескладних підходів, що на думку авторів були виділені при дослідженні: створювати повну копію існуючого програмного забезпечення та її елементів; використовувати засоби автоматизованого контролю версій розробки програмного забезпечення; будь-які зміни вносити у початковий SQL - код по створенню бази даних; використовувати засоби автоматизованого тестування.

Необхідно відмітити, що розглянуті підходи для рефакторингу баз даних застосовуються при використанні реляційних та об'єктно-орієнтованих систем управління баз даних. Для спрощення процесу рефакторингу на етапі обрання СУБД доцільно обирати об'єктно-орієнтовані СУБД, адже вони підтримують еволюційний підхід для створення програмного забезпечення, а от реляційні СУБД орієнтуються на послідовний підхід розробки.

### Література

1. Sadalage P. J., Ambler S. W. Refactoring databases: evolutionary database design [Text] (Addison-Wesley Signature Series). Addison-Wesley Professional. 2006. 384 p.
2. Fowler M., Sadalage P. J. Evolutionary Database Design [Electronic resource] martinowler.com. May 2016: Proceedings. Mode of access: <http://martinowler.com/articles/evodb.html>. Last access: 2017. Title from the screen.
3. Fowler M. Refactoring [Electronic resource] Refactoring.com, May 2017: Proceedings. Mode of access: <https://www.refactoring.com>. Last access: 2017. Title from the screen.

Олійник Г. В., аспірант, Національний університет харчових технологій  
Грибков С. В., кандидат технічних наук, доцент, Національний університет харчових технологій

## РОЗРОБКА WEB-ОРІЄНТОВАНОЇ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРИ ПЛАНУВАННІ ВИКОНАННЯ ДОГОВОРІВ

**Анотація.** У роботі розглядається проблема побудови web-орієнтованої системи підтримки прийняття рішень при плануванні виконання договорів на підприємствах, які діють у сфері надання послуг. Розроблювана СППР забезпечить вирішення більшості задач управління при плануванні та дозволить здійснити глибокий аналіз ситуацій, їх оцінку та вибір оптимального варіанту, виконуючи усі підготовчі дії та формуючи вже готові варіанти рішень.

**Ключові слова:** система підтримки прийняття рішень, web-орієнтована інформаційна система.

Виробнича діяльність підприємств, які діють у сфері надання інформаційних послуг та захисту конфіденційної інформації, значним чином залежить від організації планування виконання договорів. Надання різнопланових послуг широкому колу клієнтів зумовлює необхідність чіткої координованості, оперативності та забезпечення ефективного виконання зобов'язань, які визначаються у відповідності з умовами укладених договорів, що в свою чергу вимагає наявності потужного механізму для планування виконання етапів кожного окремого договору з урахуванням поточного здійснення робіт та з можливістю подальшого своєчасного контролю. Задача планування для таких підприємств відноситься до класу багатокритеріальних комбінаторних задач, оскільки для знаходження рішення необхідним є не лише досягнення основної цілі отримання максимального прибутку, а узгодженість багатьох факторів та врахування норм, відхилення від яких вимагає прийняття додаткових координуючих рішень.

Математичну модель задачі побудови плану виконання договорів для підприємств, діяльність яких пов'язана з наданням послуг, запропоновано авторами у роботі [1], де також було проведено огляд існуючих підходів і методів розв'язку подібних задач. За результатами математичного моделювання було виділено узагальнений критерій оцінки ефективності отриманого варіанту виконання етапів договорів, для отримання якого необхідно виконати адитивну згортку наступних чотирьох окремих критеріїв: за часом виконання договорів, за часом запізнення виконання договорів, за сумарним розміром штрафів за затримку виконання, за сумарною вартістю виконання договорів за заданий період. Крім цього, у роботі [1] було зроблено висновок про доцільність використання АСО (ant colony optimization) алгоритму при вирішенні задачі планування виконання договорів, а також наголошено на важливості дослідження та використання поліпшуючих модифікацій основних етапів алгоритму з метою його адаптації до конкретного класу задач та збільшення швидкості знаходження рішення, близького до оптимального.

З використанням основних ідей АСО алгоритму, шляхом дослідження способів його удосконалення і проведення модифікацій у відповідності з потребами предметної області, що розглядається, авторами створено комбінований алгоритм, використання якого забезпечує можливість знаходження варіантів рішення, близького до оптимального, за мінімальний час. Для роботи алгоритму створено відповідну предметній області структуру даних, а саме багат шаровий граф, кожний шар якого відповідає робочому часу одного виконавця. Крім цього, в результаті проведених експериментів з різними варіантами вхідних даних було встановлено, що розв'язок задачі зі збільшенням її розмірності у відповідності з реальними вимогами, при використанні класичного АСО алгоритму витрачав значно більшу кількість часу, ніж запропонований алгоритм. Важливо зазначити, що алгоритм адаптований для розв'язання прикладних задач формування розкладу виконання замовлень на надання інформаційно-технічних послуг.

Авторами ведеться розробка web-орієнтованої системи підтримки прийняття рішень (СППР) при плануванні виконання договорів для підприємств, діяльність яких пов'язана з наданням послуг. Система повинна забезпечувати можливість розв'язання основних задач прийняття рішень при плануванні, а також їх підтримку необхідною інформацією у будь-якому місці, де є доступ до мережі Інтернет. При розробці даної СППР використано програмну реалізацію запропонованого алгоритму.

Створювана СППР має клієнт-серверну архітектуру, інтегрується з існуючими на підприємстві інформаційними системами та вміщує наступні компоненти: засоби завантаження даних, СД (сховище даних), серверна програмна частина, інструментарій користувача. Джерелами даних для СД слугують база даних інформаційної системи управління договірними відносинами та електронні таблиці відділу матеріально-технічного забезпечення. Тісна інтеграція та зв'язок створюваної СППР з існуючими на підприємстві носіями інформації забезпечує адекватність та достовірність інформаційного забезпечення для підтримки прийняття управлінських рішень при формуванні плану виконання договорів.

Серверна програмна частина створюється мовою програмування Java з використанням сучасних технологій, таких як Spring та Hibernate. При побудові програмної частини використано багатоповову архітектуру з розподіленням на наступні основні шари: шар контролерів, за допомогою яких забезпечується взаємодія з клієнтом; бізнес-сервіси, які відповідають за виконання бізнес-логіки; шар репозиторіїв, що призначені для безпосередньої роботи з СД. Взаємодія з клієнтською частиною здійснюється з використанням ідеології REST (Representational State Transfer), що дозволило виокремити логіку системи від інтерфейсу користувача, а структуру системи зробити більш простою та масштабованою. Основною ідеєю REST є взаємодія з ресурсами через їх представлення за допомогою ідентифікаторів. При цьому, стан клієнта не зберігається на сервері, що спрощує підтримку серверної частини.

Ефективність використання СППР при плануванні та контролі виконання договорів підтверджується наступними факторами: оперативне формування та гнучкість при зміні календарного плану, що пришвидшує виконання замовлень клієнтів та зменшує кількість простоїв під час їх виконання; значне зменшення витрат часу на збір даних та підготовку інформації; можливість швидкого пристосування до поточної ситуації та внесення відповідних змін до календарного плану; чіткий розподіл в часі робіт між виконавцями, що враховує послідовність виконання та індивідуальні особливості кожного договору; можливість постійного контролю стану виконання робіт та оцінки виконання окремого договору.

За рахунок автоматизації формування і корегування варіантів календарного плану та відображення існуючого стану виконання робіт забезпечується оперативність та своєчасність надання послуг клієнтам. Значні затрати часу на збір, узагальнення та обробку даних вручну для формування календарного плану, враховуючи основні аспекти та особливості діяльності подібних підприємств, такі як: велика кількість різних замовлень, можливі індивідуальні вимоги клієнта, наявність фактору виникнення певних змін під час їх виконання, непостійність, варіативність обсягів, відсутність чіткої прогнозованої залежності, нерівномірність навантаження на виробничі підрозділи, призводять до затримок та простоїв у виконанні послуг, а також не дозволяють максимально ефективно розподілити виконання робіт у часі, зважаючи на поточну ситуацію. Розроблювана СППР вирішує дані проблеми і дозволяє зосередитись на аналізі, оцінці та виборі оптимального варіанту, виконуючи усі підготовчі дії та формуючи вже готові варіанти рішень.

### Література

1. Олійник Г. В., Грибков С. В., Литвинов В. А. Задача планування виконання договорів та підходи до її ефективного вирішення. Математические машины и системы. Київ. ІПММС НАНУ. 2015. С. 61—70.



Литовченко В. В., Черкаський державний технологічний університет  
 Крейда А. М., аспірант, Черкаський державний технологічний університет  
 Підгорний М. В., кандидат технічних наук, доцент, Черкаський державний технологічний університет

## ІНФОРМАЦІЙНА МОДЕЛЬ КЕРУВАННЯ ТРАНСПОРТНИМ ЗАСОБОМ З БЕЗСТУПЕНЕВОЮ ТРАНСМІСІЄЮ

**Анотація.** В публікації розглядається структурна схема системи керування транспортним засобом з застосуванням безступеневої трансмісії для адаптації механічних дій до вхідних-вихідних сигналів системи керування.

**Ключові слова:** система керування, безступенева трансмісія, зворотній зв'язок, адаптація.

Один із важливих аспектів під час керування транспортним засобом, це адаптація механічних вузлів та складових до змінних умов навколишнього середовища та до стилю керування водія транспортним засобом (ТЗ).

На сьогоднішній день, з урахуванням технічних досягнень та широкої класифікації механічних, гідравлічних, електричних та фрикційних варіаторів, немає чіткого визначення адаптивного керування безступеневої трансмісії на їх базі. Також немає узагальненої інформаційної моделі керування з безступеневою трансмісією.

Взагалом розглядають питання автоматизації ступеневих трансмісій транспортного засобу, автоматизацію трансмісій з варіаторами, автоматизацію окремих вузлів трансмісій та окремо алгоритми адаптації електронного блоку керування вузлами транспортного засобу [1].

В теорії автоматичного керування (ТАК), керування будь-яким об'єктом, є процес направленої дії для зміни існуючого стану. При застосуванні подразників на систему, вона починає пристосовуватись та протидіяти, тим саме адаптуватись до змін. У випадку керування транспортним засобом в процесі адаптації необхідно визначити об'єкт на який накладається подразник та сам подразник. Це може бути: дорожнє покриття, тиск шин, навантажена маса ТЗ, передаточне відношення трансмісії, час зміни передаточного відношення, потужність двигуна, реакція водія ТЗ, погодні умови і т. д. Схематично зображено розподіл вказаних чинників (рис. 1), де розглядається запропонована авторами система «водій-двигун-трансмісія-колеса» (рис. 1 б) та часто застосовувану систему «водій-автомобіль-дорога» ВАД (рис. 1 а) [2].

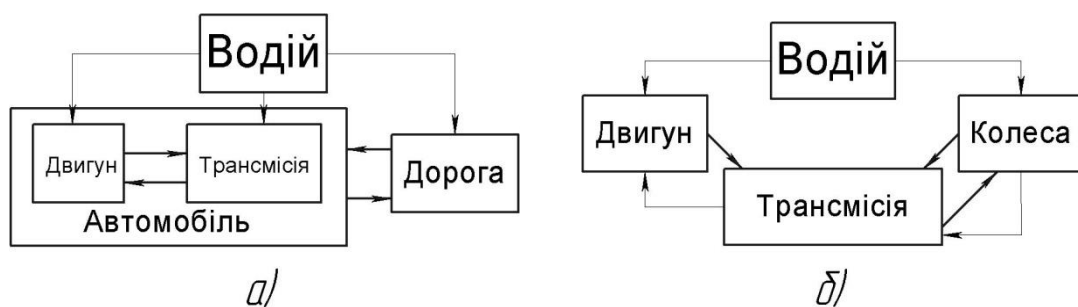


Рисунок 1 – Схеми розподілу рівнів передачі інформаційних чинників транспортного засобу: а) узагальнена схема сучасних систем; б) схема запропонована авторами

→ рівні механічної взаємодії  
 → рівні передачі керуючих сигналів

Система керування ТЗ постійно прагне набути стану врівноваженості. Тобто упорядкувати вхідні та вихідні сигнали до стану рівноваги, заради уникнення конфліктів між собою. Перелік таких сигналів досить широкий та різноманітний за характером (зовнішні характеристики двигуна внутрішнього згорання, діапазон передаточних відношень, час реакції водія, зміна напрямку руху і т. д.). Мірою невірноваженості в системах керування ТЗ, є

ентропія упорядкованості [2]. У випадку з транспортним засобом інформаційною ентропією виступають сигнали отримані системою керування від водія та навколишнього середовища. Такого роду сигнали є нечіткими та важко прогнозованими для створення умов адаптації складної технічної системи, такої як транспортний засіб. Для досягнення врівноваженості системи керування, необхідно, по-перше мати зворотній зв'язок між органами керування, по-друге поєднати робочі зусилля з керуючими сигналами без диференційованих перетворень та об'єктів-посередників, по-третє вихідні сигнали взаємопов'язаних об'єктів повинні бути вхідними сигналами для інших об'єктів з умовою їх пристосованості.

Сучасні системи керування транспортним засобом направлені на уникнення ентропії в інформаційній моделі керування. Але в більшості випадків це досягається уніфікованими способами:

- визначення можливих умов експлуатації ТЗ;
- визначення можливих умов передачі сигналу в системах керування;
- прогнозування режимів поведінки джерела ентропії;
- застосування запрограмованого ЕБК для маніпуляцій інформації по заданій програмі;
- автоматизація інформаційного потоку між джерелом ентропії та ЕБК;

Запропонована схема має структуру системи з від'ємним зворотнім зв'язком, де безступенева трансмісія є регулятором перетворення, як робочих, так і керуючих сигналів [3].

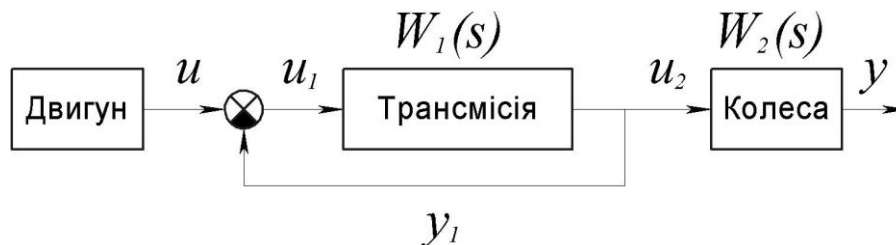


Рисунок 2 – Структурна схема керування транспортним засобом з зворотнім зв'язком.

Регулюючи координати в системі керування транспортним засобом (рис. 2), це частота обертів колінчатого валу двигуна та навантаженість ведучих коліс, а передаточною функцією є рівняння зміни передаточного відношення трансмісії. Тоді вихідна частота обертів ведучих коліс, запишеться у виразі:

$$y = \left[ W_1(s) \times u_1 + \frac{W_1(s) \times u_1}{1 + W_1(s) \times u_1 \times W_2(s) \times u_2} \right] \quad (1)$$

**Висновок:** За наведеною схемою розподілу рівнів передачі інформаційних чинників, пропонується для розгляду міжрівнева система адаптації механізмів до системи керування. У вказаній схемі автоматизація, як така, виникає не за рахунок запрограмованих систем керування, а за рахунок взаємного врівноваження механічних дій.

### Література

1. Рынкевич С. А. Адаптивные системы управления АТС. Журнал "Автомобильная промышленность. 2005. Вып. № 6. С. 36—38.
2. Осташевский С. А. Определение понятий "управляемость автомобилей" и "вождение машины" в системе "водитель–автомобиль–дорога". Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. 2013. Вып. 61-62. С. 300—305.
3. Тимченко А. А. Системні дослідження в науці та техніці. Частина III. Гносеологія наукових досліджень. Міністерство освіти і науки України. Черкас. держ. технол. ун-т. Черкаси. ЧДТУ. 2008. 32 с. (Бібліотечка науково-технічного журналу «Вісник ЧДТУ»).

**Сікора Л. С.**, доктор технічних наук, професор,  
Національний університет «Львівська політехніка»

**Лиса Н. К.**, кандидат технічних наук,  
НДВ «Центр стратегічних досліджень еко-біо-технічних систем»

**Марцишин Р. С.**, кандидат технічних наук, доцент,  
Національний університет «Львівська політехніка»

**Міюшкович Ю. Г.**, кандидат технічних наук, доцент,  
Національний університет «Львівська політехніка»

## ІНФОРМАЦІЙНІ МОЖЛИВОСТІ МЕТОДУ ЛАЗЕРНОГО ЗОНДУВАННЯ ВІБРАЦІЇ АГРЕГАТИВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЕНЕРГОАКТИВНИХ ОБ'ЄКТІВ

**Анотація.** Розглянуто методику синтезу робасного лазерного спостерігача динамічного стану об'єкта управління. Як об'єкт управління використовується модель енергоактивного об'єкта, одним з параметрів стану якого є рівень вібрації, яка відбиває лазерний промінь. Розроблений метод може бути застосований для дослідження інших об'єктів та електродинамічних структур, стан яких можна ідентифікувати за допомогою лазерного дистанційного зондування.

**Ключові слова:** система управління, лазер, вібрація, енергоактивний об'єкт.

Використання лазерних систем вимірювання як спостерігачів динамічного стану об'єкта управління (в яких корисна інформація формується під час взаємодії зондуючого сигналу з технологічним середовищем) дозволяє зробити спостережним такий стан об'єкту, який неможливо виявити прямим вимірюванням і який зв'язаний з оптичними електромагнітними взаємодіями і перетвореннями. Зондуючий сигнал при взаємодії з технологічним середовищем і каналами розповсюдження змінює свою просторово-часову і енергетичну структуру, яка описується в рамках теорії нестационарних випадкових полів і сигналів в рамках енергетичної концепції періодично корельованих випадкових процесів (ПКВП). Виявлення і опрацювання лазерних сигналів на основі адекватних задач алгоритмів дає змогу виявити такі параметри та характеристики відбитого сигналу і об'єкта дослідження: траєкторію стану в часі і її статистики, просторово-часову структуру технологічного середовища.

Синтез алгоритму опрацювання зондуючого сигналу проведений на основі розробленої комплексної моделі об'єкта управління з каналом вимірювання. Модель враховує стохастичну структуру: потоків матеріальних і енергетичних ресурсів, термодинамічних процесів, зовнішніх та внутрішніх збурень, управляючих дій. Відповідно до задачі спостереження, модель лазерного каналу вимірювання включає підмоделі: зондуючого сигналу, каналу розповсюдження, зони локації об'єкта, пристрою виявлення та пристрою виділення і оцінки інформаційних ознак лазерних сигналів [1].

Оскільки в системі технологічного процесу (ТП) діє багато джерел збурень (які впливають на перебіг технологічного процесу і його структуру) то система управління повинна мати робасні властивості (стійкість до сильних збурень) для стратегії управління і спостереження необхідних для компенсації збурень у процесі функціонування. Робасний лазерний спостерігач динамічного стану технологічного процесу забезпечує стійкий режим його перебігу при коректній оцінці параметрів ТП, який має складну електродинамічну структуру [2].

В основу концепції дослідження покладена методика, яка використовує процедури побудови структури інформаційно-ресурсної моделі об'єкта управління (з виділенням ресурсних і інформаційних задач). Визначення динамічного стану проводиться на основі ідентифікації параметрів структури просторового формуючого фільтру, який зв'язує параметри потоків матеріальних і енергетичних ресурсів з динамічним станом в зоні локації об'єкта [3].

На технологічні процеси діють джерела збурень різної фізичної природи (які вносять невизначеність в оцінку стану) та адекватні цільовій задачі методи синтезу робасних спостерігачів динамічного стану і робасних систем управління для нестандартних ситуацій [4].

В основу синтезу систем автоматизованого управління (САУ) відповідно до цільової задачі, покладено побудову моделі об'єкту управління технологічним процесом (ОУ<sub>ТП</sub>) і робасного лазерного спостерігача (виходячи з інформаційно-ресурсної концепції і енергетичної теорії сигналів стану).

На основі моделі ОУ-ТС, моделі формуючого фільтру стану, моделі лазерного сигналу і вибраного способу зондування в зоні контролю технологічного процесу проводиться:

- визначення процедур методики синтезу робасних алгоритмів оцінювання параметрів лазерного променя;
- оцінювання параметрів стану на основі моделей ПКПВ і їх статистичних характеристик (на основі відповідного вибору).

Процедури оцінки проводяться відповідно до алгоритмів розв'язання цільової задачі в рамках можливостей наявної бази знань.

При розв'язанні задачі синтезу робасного спостерігача використовуються методи вінерівської узгодженої фільтрації, робасної статистики для оцінки параметрів лазерного сигналу. Лазерний сигнал при цьому несе дані про параметри стану ОУ. Враховуючи модель взаємодії лазерного променя з технологічним середовищем, визначаються алгоритми виявлення інформаційного параметра і синтезуються робасні алгоритми оцінки динамічного стану (на основі теорії фільтрації Калмана-Бюсі і теорії оцінювання лазерних сигналів). На основі цих алгоритмів будується структура спостерігача – лазерного вібрметра (рис. 1).

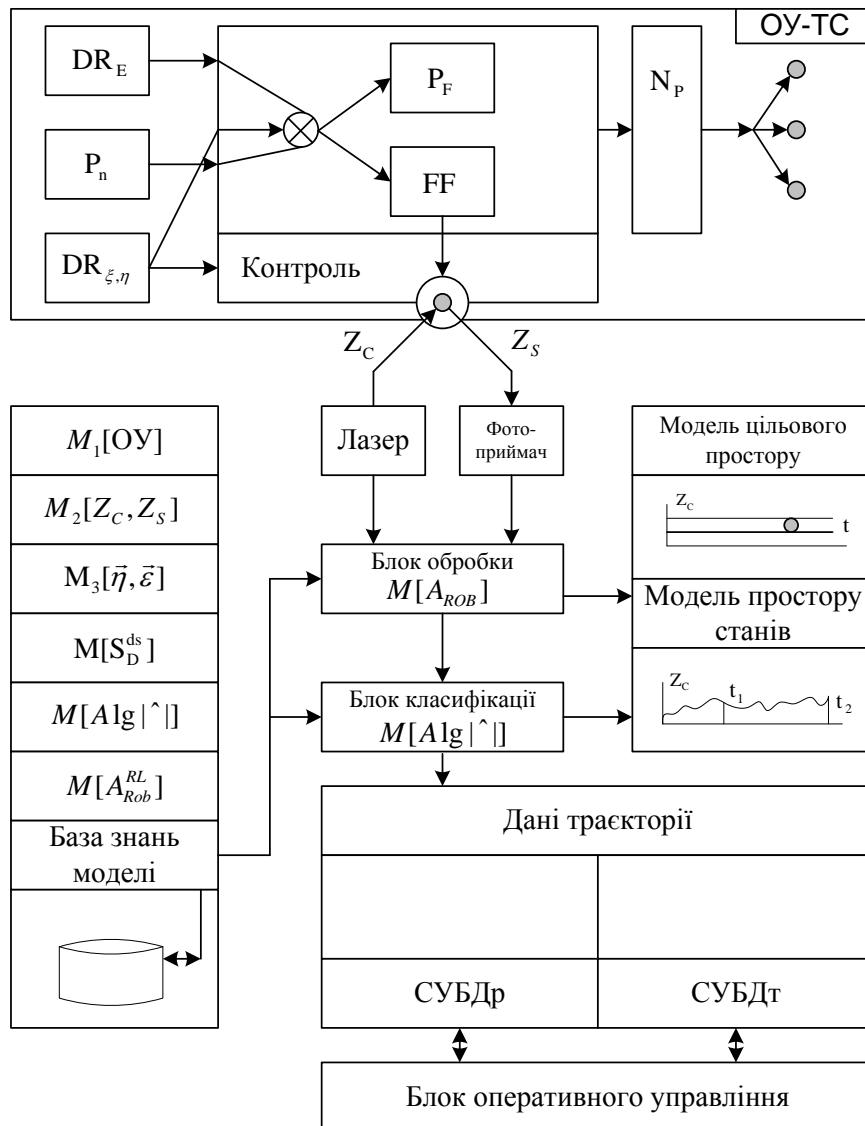


Рисунок 1 – Інформаційна структурна схема процесу формування образу ситуації

На рис. 1. зображено інформаційну структуру процесу формування образу динамічної ситуації в технологічній системі при лазерному зондуванні. Схема яка складається з таких блоків:

- ОУ-ТС – об’єкт управління, в структуру якого входять: джерела ресурсів  $DR_{\xi,\eta}$ , на які впливають збурення в процесі управління, джерела технологічних збурень  $DR_E$ , формівний фільтр технологічного стану в зоні контролю FF.

- параметр стану в зоні локації –  $Z_{TP}$ , база знань з набором моделей структури і динамік (простору станів, факторів збурень, простору цілей, алгоритмів опрацювання).

У структуру лазерної ІВС входять: лазер, фотоприймач, блок обробки сигналу, блок класифікації рівня вібрації, система ідентифікації і оперативного управління.

Структура спостерігача стану технологічного процесу визначається класом стратегії управління, на основі якої з бази знань вибираються моделі компонентів (рис. 1):

- $M_1[OU]$  – модель об’єкта управління;
- $M_2[Z_C, Z_S]$  – моделі зонduючого і відбитого лазерних сигналів;
- $M_3[\vec{\eta}, \vec{\varepsilon}]$  – моделі джерел збурень, що діють в технологічній системі;
- $M_4[S_D^{ds}]$  – модель цільового простору і еталонних траєкторій досягнення цілі;
- $M[Alg | \hat{\cdot}]$ ,  $M[A_{Rob}^{RL}]$  – моделі алгоритмів.

### Література

1. Лазерний контроль вібрації агрегатів транспортної інфраструктури: [монографія] / Б. В. Дурняк, А.І. Груник, Л.С. Сікора, О.В. Тимченко; Укр. акад. друкарства. – Львів : Укр. акад. друкарства, 2016. – 156 с.
2. Сікора Л.С. Лазерні інформаційно-вимірювальні системи для управління технологічними процесами. Ч.1. – Львів: Каменяр, 1998. – 445 с.
3. Драган Я. Енергетична теорія лінійних моделей стохастичних сигналів. – Львів: Центр стратегічних досліджень еко-біотехнічних систем, 1997. – 361 с.
4. L. Sikora, N. Lysa, R. Martsyshyn and Y. Miyushkovych, "Models of combining measuring and information systems for evaluation condition parameters of energy-active systems," 2016 IEEE First International Conference on Data Stream Mining & Processing (DSMP), Lviv, 2016, pp. 290-294.

## СИСТЕМНА ЗАДАЧА ФОРМУВАННЯ ПРОЦЕДУР ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ КОМПЛЕКСОМ

**Анотація.** Постійне ускладнення управління об'єктами в складних організаційно-технічних (технологічних) системах об'єктивно призводить до необхідності використання одного з найбільш перспективних напрямків сучасної теорії управління - інтелектуальних систем різного виду та призначення.

**Ключові слова:** об'єкт, управління, технологічний комплекс, інтелектуальні системи, системний аналіз.

**Введення.** Розглядається технологічний комплекс (ТК) цукрового заводу, безперервне функціонування якого протягом сезону характеризується значними матеріальними потоками, енергетичними затратами, що породжує суттєві інформаційні потоки для вимірювання та підтримки на необхідному рівні кількох систем технологічних змінних різної природи (температура, рівень, витрата, рН і ін.) для забезпечення заданих (оптимальних) технологічних режимів, в умовах різного роду невизначеностей, збурень та ризиків.

Розглянутий ТК відноситься до одного класу складних систем з ієрархічною структурою, наявністю окремих взаємопов'язаних підсистем зі своїми математичними моделями, показниками функціонування та критеріями. Для ідентифікації процесу функціонування ТК використовуються різні методи, наприклад, адаптивні нейронні мережі [1]. При розробці функціональних структур систем управління необхідно передбачати алгоритми як звичайної стабілізації технологічних режимів, так і методи ситуаційного управління [2], прецедентного, адаптивного та ін., що забезпечує стійкість технологічних процесів в умовах невизначеності та прийняття рішень як в штатних, так і в позаштатних ситуаціях [3]. Загальною основою для реалізації названих методів та поєднання їх в одну систему є інтелектуальні технології, синтезовані на основі системного підходу та методів сучасної теорії управління.

**Постановка задачі та результати.** Системна задача формування процедур інтелектуального управління ТК включає ряд етапів, першим з яких є системний аналіз ТК як складного об'єкта управління з обґрунтованим введенням підсистем, оцінками процесу їх функціонування, ідентифікацією безлічі ситуацій, що виникають у виробництві, урахування невизначеностей різної природи та їх вплив на процес управління.

Використовується системний підхід, який полягає в тому, що інтелектуальна система управління (ІСУ) є ефективним засобом гарантованого досягнення мети з максимальною кількістю управління на верхньому рівні і мінімальною витратою корисного ресурсу на нижньому (виконавчому) рівні ієрархічної системи автоматизації «технологічний об'єкт + регулятор». На змістовному рівні така постановка відображає цілеспрямоване функціонування ІСУ в загальному випадку непередбачених (позаштатних) ситуацій. Визначальну роль тут відіграє рівень інтелектуальності розробленої системи, в першу чергу, форма, вид і глибинне уявлення знань [4, 5].

Однією з важливих характеристик ІСУ є рівень інтелектуальності [6, 7], який визначає стан функцій, які виконуються людиною (особою, яка приймає рішення - ОПР), і реалізованих програмно-технічної компонентою системи управління, що мають формалізованих регулярний характер, на відміну від евристик, використовуваних ОПР. Для технологічних об'єктів рівень інтелектуальності повністю визначає ефективність системи управління, що реалізується комплексом дій, отриманих експертним шляхом у вигляді правил «ЯКЩО А ... ТО В ...», де А і В - лінгвістичні змінні з певними функціями належності. Фактично цей процес визначає можливості реалізації ефективних управлінь в різних технологічних і виробничих ситуаціях.

Останнім часом розвивається підхід до розробки ІСУ, який можна назвати комплексуванням, наприклад, створюються робастно-адаптивні, робастно-оптимальні системи,

робастно-модальні регулятори і ін., що на основі інтелектуальних технологій дає можливість реалізувати: адаптивне управління зі зміною структури і (або) параметрів системи, в тому числі, на основі прецедентів; прогнозування поведінки системи з метою оперативного коригування показників управляючих впливів на майбутній період функціонування об'єкта; діагностування стану об'єкта управління та визначення безлічі допустимих впливів на певні періоди часу; забезпечення робастних показників стійкості та якості перехідних процесів, стабілізації об'єкта в різних ситуаціях; визначення безлічі зовнішніх збурень.

Окремим завданням при розробці ІСУ є інтелектуальний аналіз даних (іноді виділяється окремо аналіз часових рядів) - мультидисциплінарна область, яка виникла та розвивається на основі таких наук як прикладна статистика, розпізнавання образів, штучний інтелект, теорія баз даних та ін. Нові аспекти цієї проблеми викладені в роботі [8], де показані можливості мереж Байеса, зокрема, при побудові інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень. В цьому випадку системний підхід при створенні ІСУ дає можливість: виконати аналіз альтернативних (взаємодоповнюючих) методів обробки даних для збереження та підвищення їх інформативності, приведення до зручної форми, коригування типу розподілу (перехід від рівномірного до нормального розподілу), використовувати методи імітаційного моделювання; провести оцінку альтернативних методів визначення структури та параметрів математичних моделей; використовувати безліч критеріїв оцінювання адекватності моделей; застосовувати альтернативні методи генерування ймовірнісних висновків та, при можливості, управляючих впливів оцінки отриманих прогнозів; обґрунтовано обирати кращі рішення з безлічі згенерованих альтернатив для формування остаточного висновку.

#### **Висновки**

1. Інтелектуальні системи управління технологічними комплексами мають ієрархічну структуру, що забезпечує реалізацію ефективних методів підвищення техніко-економічних показників об'єкта в класі організаційно-технічних (технологічних) систем.

2. Формування процедур інтелектуального управління ТК ґрунтується на комплексуванні методів системного аналізу та сучасної теорії управління, і забезпечує функції дослідження об'єктів на основі нейро-і нейро-нечітких систем з реалізацією завдань ідентифікації, адаптації, координування, прогнозування, прецедентного і ситуаційного управління.

3. Для технологічних комплексів неперервного типу зміни матеріальних потоків є ефективним керуючим впливом.

#### **Література**

1. Andrzej Chochowski, Anatolii Ladanyuk, Volodymyr Reshетиuk, Regina Boyko, Yaroslav Smityukh. Information technology identification process of the technological complex. *Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW Agriculture No 67 (Agricultural and Forest Engineering)*. 2016. P. 149—154.

2. Ладанюк А. П., Шумыгай Д. А., Бойко Р. О. Ситуационное координирование подсистем технологических комплексов непрерывного типа. *Международный научно-технический журнал «Проблемы управления и информатики»*. 2013. №4. С. 117—122.

3. Ладанюк А. П. Основы системного анализа: навчальний посібник. Вінниця. Нова книга. 2004. 176 с.

4. Литвинова Л. В., Ульянов С. В. Интеллектуальные системы управления. I. Квантовые вычисления и алгоритм самоорганизации. *Известия РАН. Теория и системы управления*. 2009. № 6. С. 102—141.

5. Li Y., K.H. Ang, G.C.Y Chong. Patents, software and hardware for PID control: an overview and analysis of the current art. *IEEE Control Systems Magazine*. 2006. Vol. 26. №1. P. 42—54.

6. Захаров В. Н., Ульянов С. В. Нечёткие модели интеллектуальных промышленных регуляторов и систем управления. II. Эволюция и принципы проектирования. *Изв. АН СССР. Техническая кибернетика*. 1993. №4. С. 189—205.

7. Антамошин А. Н., Близнова О. В. и др. Интеллектуальные системы управления организационно-техническими системами. Москва. Горячая линия. Телеком. 2006. 160с.

8. Згуровський М. З., Бідюк П. І., Терентьев О. М., Просьянкіна-Жарова Т. І. Байєсівські мережі в системах підтримки прийняття рішень. Київ. ТОВ «Видавниче підприємство «Едельвейс»». 2015. 300 с.

Горбійчук М. І., доктор технічних наук, професор, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу  
Пашковський Б. В., здобувач, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

## НЕВИЗНАЧЕНІСТЬ ПРИ КЕРУВАННІ РОБОТОЮ ГАЗОПЕРЕКАЧУВАЛЬНИХ АГРЕГАТІВ

**Анотація.** Розв'язано задачу оптимального керування групи паралельно працюючих газоперекачувальних агрегатів при мінімізації загальних витрати на експлуатацію нагнітачів за умови обмеження частоти обертання нагнітача, температури газу на виході із нагнітача та температури продуктів згорання на виході турбіни низького тиску. Враховано нечіткість продуктивності нагнітача.

**Ключові слова:** газоперекачувальний агрегат, генетичні алгоритми, нечітка величина, функція належності.

Задача оптимального керування групою паралельно працюючих газоперекачувальних агрегатів (ГПА) з газотурбінним приводом у роботі [1] сформована наступним чином. Визначити такі обороти ротора кожного нагнітача природного газу, щоб загальні витрати паливного газу були мінімальними при виконанні технологічних обмежень на компримування природного газу.

Загальні витрати на експлуатацію нагнітачів компресорної станції з газотурбінним приводом можна обчислити за такою формулою:

$$J(\bar{n}) = c_g \sum_{i=1}^m G_i(n_i), \quad (1)$$

де:  $J(\bar{n})$  – вартість роботи  $m$  паралельно працюючих агрегатів, віднесеної до одиниці часу;

$c_g$  – вартість одиниці об'єму паливного газу, що витрачається на привід газотурбінної установки;

$G(n_i)$  – витрата паливного газу, що віднесена до нормальних умов, яку споживає  $i$ -тий ГПА;

$n_i$  – частота ротора  $i$ -го нагнітача.

У відповідності з технологічним режимом необхідно обмежити температуру газу на виході із нагнітача  $T_{out}$  та температуру продуктів згорання на виході турбіни низького тиску –  $T_v$ . Для безпомпажної роботи повинна бути обмежена нижня частота ротора нагнітача [2]:

$$T_{out} \leq T_{out}^{(max)}, \quad (2)$$

$$T_v \leq T_v^{(max)}, \quad (3)$$

$$n_i^{(min)} \leq n_i \leq n_i^{(max)}, \quad (4)$$

де:  $T_{out}^{(max)}$ ,  $T_v^{(max)}$  – максимально допустимі значення для величин  $T_{out}$  і  $T_v$ ;

$n_i^{(min)}$ ,  $n_i^{(max)}$  – нижнє і верхнє обмеження на частоту ротора нагнітача.

При виконанні обмежень (2)–(4) повинна виконуватись вимога забезпечення заданої продуктивності  $Q$  компресорної станції

$$Q = \sum_{i=1}^m Q_i, \quad (5)$$

де:  $Q_i$  – продуктивність  $i$ -го нагнітача.

Продуктивність  $i$ -го нагнітача є функцією таких параметрів як  $n_i$ ,  $P_{in}$ ,  $T_{in}$ ,  $\varepsilon$ ,  $P_c$  і  $T_c$

$$Q_i = f_q^{(i)}(n_i, P_{in}, T_{in}, \varepsilon, P_c, T_c). \quad (6)$$



З огляду на те, що вимірювання продуктивності  $i$ -го нагнітача відбувається зі значною похибкою, то є всі підстав вважати коефіцієнти мовherелі нечіткими числами. Розрахунок приводить до наступних результатів:

$$\tilde{Q}_i(n_i) = \sum_k a_{k,0}^{(i)} n_i^k + K_\gamma \left( \sum_k \left( a_{k,0}^{(i)} n_i^k \right)^2 \right)^{1/2} \quad (7)$$

де:

$$K_\gamma = \frac{\delta}{4(\ln 4)^{1/2}} \cdot \sqrt{\ln \frac{1}{\gamma^2}} \quad (8)$$

де:  $\delta$  – точність вимірювання,  $\gamma$  – гамма зріз.

Отже, отримали таку задачу оптимального керування групою паралельно працюючих компресорних агрегатів:

$$\min : J(\bar{n}) = c_g \sum_{i=1}^m G_i(n_i) \quad (9)$$

при обмеженнях

$$Q = \sum_{i=1}^m \tilde{Q}_i(n_i), \quad (10)$$

$$n_i^{(\min)} \leq n_i \leq \tilde{n}_i^{(\max)}, \quad i = \overline{1, m}, \quad (11)$$

де:  $\tilde{Q}_i(n_i)$  – обчислюється за формулою (7).

Аналіз формули (7) показує, що нечіткість параметрів емпіричної мовherелі приводить до появи певного «штрафу» за неточність вимірювання продуктивності нагнітача природного газу. Із збільшення точності вимірювання продуктивності значення  $\delta$  прямує до нуля і в такому випадку отримуємо wheterміновану задачу оптимального керування групою паралельно працюючих ГПА [1, 2].

### Література

1 Горбійчук М. І., Ковалів Є. О., Заячук Я. І. Оптимальне керування роботою газоперекачувальних агрегатів компресорних станцій. Нафтогазова енергетика. Всеукраїнський науково-технічний журнал. 2010. № 1(12). С. 41—45.

2 Горбійчук М. І., Заячук Я. І. Оптимальне керування роботою нагнітачів природного газу із врахуванням технічного стану ГПА. Східно-Європейський журнал передових технологій. 2008. №6/5 (30). С. 7—11.

Крейда А. М., аспірант, Черкаський державний технологічний університет  
Литовченко В. В., Черкаський державний технологічний університет  
Підгорний М. В., кандидат технічних наук, доцент,  
Черкаський державний технологічний університет

## ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ВИНИКНЕННЯ ПОХИБОК ПІД ЧАС ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ НА ВЕРСТАТАХ З ЧПК

**Анотація.** Розглянуто питання забезпечення надійності програми керування. Виконано аналіз всіх важливих факторів, що виникають під час обробки деталей та призводять до збою роботи верстату з ЧПК. Запропоновано класифікацію та методи обрахунку помилок.

**Ключові слова:** автоматизація, похибки ПК, верстати з ЧПК.

**Постановка проблеми.** Формування і реалізація сучасних концепцій обробки на основі застосування автоматизованих систем технологічної та конструкторської підготовки виробництва є одним з ключових елементів модернізації промисловості. Застосування систем автоматизації в процесі підготовки виробництва сприяє підвищенню технічного рівня і якості проєктованих об'єктів, скорочення термінів їх розробки і освоєння в виробництві, підвищенні продуктивності обробки, підвищенні якості деталей, що обробляються, зниження відсотка браку, скороченню часу підготовки виробництва.

Застосування обладнання, керованого системами з числовим програмним керуванням (ЧПК) дозволяє значну частину роботи проводити програмним забезпеченням, яке виконує різноманітні розрахунки і інтерфейсні функції, вирішує задачі управління елементами системи.

**Метою роботи** є дослідження та узагальнення існуючих проблем по впровадженню програм керування (ПК) на верстатах з ЧПК, що виникають при стрімкому розвитку металообробної галузі промисловості.

**Виклад основного матеріалу.** На сьогоднішній день жодна з існуючих САМ-систем не в змозі без технолога створити оптимальну програму керування для верстата з ЧПК. Багато в чому це обумовлено тим, що практично всі існуючі на даний момент САМ-системи використовують для своїх розрахунків статичні математичні моделі інструмента і деталі та не враховують динаміку руху виконавчого органу верстата.[1]

Забезпечення високої якості технологічних процесів і ПК при мінімальних затратах праці і часу на їх підготовку і виготовлення – одна з головних умов раціонального використання металорізальних верстатів з ЧПК в промисловості. Разом з тим написана програма керування, ще не є запорукою безвідмовної роботи верстата з ЧПК. Виникає необхідність провести аналіз та класифікувати можливі причини відмови роботи верстата з ЧПК, виявити джерела виникнення помилок в ПК для їх запобігання. В результаті дослідження проведено класифікацію і виділено такі основні різновиди помилок:

1. Помилки, пов'язані із забезпеченням технологічності на етапі проєктування конструкторської та розробкою технологічної документації. Недосягненням певного рівня технологічності проєктованого виробу виражаються в подальшій некоректності роботи ПК.

$$E_t = \frac{eng_d \cdot eng_t}{t}, \quad (1)$$

де:  $E_t$  – помилка технологічності,  $eng_d$  – конструктор,  $eng_t$  – технолог,  $t$  – час витрачений на створення і опрацювання креслення.

2. Помилки написання. В даний час для створення керуючих програм використовують різні САД/САМ-системи. В інших випадках під САМ розуміють застосування ЕОМ в управлінні виробництвом і рухом матеріалів.

$$E_p = \frac{eng_p \cdot CCS}{t}, \quad (2)$$

де:  $E_p$  – помилка програмування,  $eng_p$  – інженер, що безпосередньо програмує ПК,  $CCS$  – Cad/Cam система,  $t$  – час витрачений на створення програми керування.

3. Помилки налагодження. На появу помилок налагодження і, як наслідок, на відмову програми керування впливає кваліфікація наладчика. Знання ним усіх можливостей верстата і системи ЧПК дозволяє йому найбільш ефективно впровадити і запустити в експлуатацію програмний продукт, який буде містити мінімум невиявлених помилок.

$$E_t = \frac{eng_{adg} \cdot fal}{t}, \quad (3)$$

де:  $E_t$  – помилка налагодження,  $eng_{adg}$  – наладчик верстата з ЧПК,  $fal$  – збій системи,  $t$  – час, витрачений на відновлення роботи.

4. Збій – помилки, що виникають при експлуатації програми. Помилки, що з'являються в процесі експлуатації програмного продукту, пов'язані в першу чергу з помилковими діями оператора і збоями самої системи ЧПК.

$$E_o = \frac{eng_o \cdot env \cdot fal}{t}, \quad (4)$$

де:  $E_o$  – помилка експлуатації,  $eng_o$  – оператор верстата з ЧПК,  $env$  – навколишнє середовище,  $fal$  – збій системи,  $t$  – час, витрачений на відновлення роботи.

Схема для наглядної ілюстрації всіх вище перерахованих факторів відмови роботи ПК зображена на рис. 1.

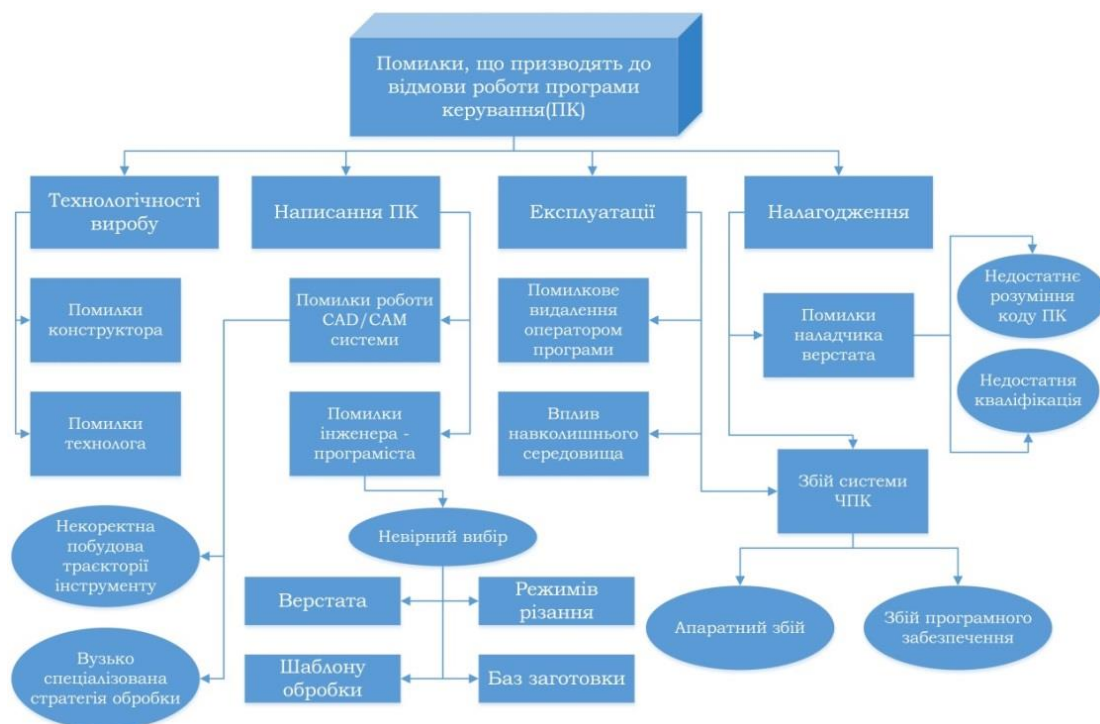


Рисунок 1 – Джерела виникнення помилок в ПК

**Висновки.** Проведеним дослідженням встановлено помилки при роботі ПК по завантажених в верстата 3D моделях деталей. Для усунення похибок пропонується застосувати вбудовану в ЧПК верстата САМ систему, та добре розвинений функціонал FBM (Feature Based Machining) або KBM (Knowledge Based Machining), знань у вигляді великих баз інструментів і режимів різання, інструкцій (досвіду) щодо застосування кращих технологій і методів обробки.

### Література

1. Шилов П. П., Моцаков С. А. Обеспечение надежности управляющей программы для металлорежущего станка с ЧПУ. Технические науки. Известия Тульского государственного университета. 2009. № 4. С. 53—58.
2. Шаламов А. В., Мазеин П. Г. Обеспечение эффективности использования САД/САМ систем при разработке управляющих программ для обработки пространственно-сложных поверхностей деталей. Проблемы машиностроения. Известия Челябинского научного центра. 2002. Вып. 3(16). С. 60—64.

Медіна М. С., начальник станції, Центр прийому і обробки спеціальної інформації та контролю навігаційного поля  
Ллючок О. М., начальник служби, Національний центр управління та випробувань космічних засобів  
Піскун О. М., начальник лабораторії, Національний центр управління та випробувань космічних засобів  
Кожухов Д. М., начальник групи, Національний центр управління та випробувань космічних засобів

## ВИКОРИСТАННЯ ПРИСТРОЇВ СИНХРОНІЗАЦІЇ ЗА ПРОТОКОЛОМ РТР В КОМПЛЕКСАХ УПРАВЛІННЯ АНТЕННИМИ СИСТЕМАМИ СТАНЦІЙ ПРИЙОМУ ІНФОРМАЦІЇ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

**Анотація.** Проведено аналіз існуючого стану забезпечення сигналами точного часу та синхронізуючими частотами. Виділені переваги та недоліки використання навігаційних приймачів в якості джерел точного часу. Запропоновано комбінований спосіб прив'язки по сигналам навігаційних приймачів та пристроїв синхронізації за протоколом РТР.

**Ключові слова:** системи синхронізації часу, навігаційні приймачі, ртр протокол передачі точного часу.

Застосування приймальних станцій для отримання інформації дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) високої розподільчої здатності накладає підвищені вимоги до комплексів управління антенними системами. Ці вимоги обумовлені забезпеченням прийому високошвидкісних потоків інформації, відповідно приводять до звуження ширини діаграми спрямованості антенних систем. В наслідок цього виникає необхідність стійкого супроводу космічних апаратів (КА).

Одним із шляхів забезпечення необхідної точності в роботі комплексів управління антенних систем є використання навігаційних приймачів для синхронізації роботи складових комплексів управління. Досвід впровадження і використання навігаційних приймачів в приймальних станціях, розміщених в ЦПОСІ та КНП, дозволяє виділити наступні переваги, порівняно з традиційними системами єдиного часу: малий час готовності до застосування, невеликі масо-габаритні показники, формування шкали часу з високою точністю, відсутність спотворення сигналів в довгих лініях, використання декількох навігаційних систем (GPS, Глонасс, Galileo). Слід зазначити, що стандартні приймачі формують лише сигнал частотою 1 Гц, якого може бути недостатньо для роботи комплексів управління, що потребують набору певної кількості синхрочастот. Розробка та створення пристрою формування синхросигналів в поєднанні з навігаційним приймачем дозволяє обійти дане обмеження.

Альтернативою навігаційним приймачам можуть виступати пристрої синхронізації за протоколом РТР. На даний час в ЦПОСІ та КНП спільно з ДП Укрметртестстандарт проводяться дослідження по забезпеченню часовою прив'язкою місцевої шкали часу до національної шкали часу від вторинного еталону частоти та часу.

Проміжні результати показують можливість використання обладнання для синхронізації по протоколу РТР. Кінцеве обладнання дозволяє отримати код часу, сигнали синхронізації 1PPS та опорну частоту. Разом з тим, слід відмітити необхідність постійного моніторингу каналу зв'язку та можливість часової прив'язки від навігаційного приймача у разі пошкодження каналу зв'язку.

### Література

1. Дэвид Л. Миллс. Сличение времени в компьютерных сетях. Протокол сетевого времени на Земле и в космосе. Дэвид Л. Миллс. WIRCOM. 2011.
2. Савчук А. В., Шапошников В. Н., Черняк И. П. Теоретические основы синхронизации текущего времени в телекоммуникациях. Зв'язок. 2007. № 3. С. 5—9.

Тимчук С. О., доктор технічних наук, професор, Харківський національний технічний університету сільського господарства імені Петра Василенка  
Шендрик С. О., аспірант, Сумський державний університет

## АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРИ УПРАВЛІННІ ГІБРИДНИМИ ЕНЕРГОМЕРЕЖАМИ

**Анотація.** Проблема ефективного управління енергозабезпеченням у гібридних енергомережах з відновлювальними джерелами енергії є складною та важливою на сучасному етапі розвитку світової енергетики. Метою даної роботи є аналіз існуючих методів та засобів прийняття рішень при управлінні виробництвом та розподіленням електроенергії.

**Ключові слова:** відновлювальні джерела енергії, система управління, підтримка прийняття рішень, оптимальне управління, гібридні енергомережі.

Сучасний стан гібридних енергосистем (ГЕ) потребує аналізу альтернативних варіантів їх розвитку. Існуючі тенденції привели не тільки до ускладнення структури систем управління ГЕ, а й обумовило їх перетворення у єдиний технологічний комплекс, який отримав характерні риси штучних систем кібернетичного типу. У першу чергу це стосується розвитку технологій прийняття рішень при управлінні енергозабезпеченням за рахунок розподіленої генерації електроенергії від різних типів відновлювальних джерел енергії (сонячних панелей, вітрогенераторів та інших).

Проблема енергоефективності ГЕ у більш практичній постановці пов'язана саме з оптимальним управлінням виробництвом та використанням електроенергії. У контексті цього велике значення має розвиток та удосконалення моделей та інформаційних технологій прийняття рішень при управлінні. Оптимізація рішень дозволяє отримати максимальний ефект управління.

Основним завданням даної роботи є аналіз предметної області, методів та засобів прийняття рішень при управлінні гібридними енергомережами з метою інвентаризації методів прийняття рішень, методів управління, які можуть бути використані у системі електрозабезпечення від різних типів відновлювальних джерел енергії, виявлення актуальних завдань вдосконалення таких методів та реалізації їх засобами інформаційних технологій.

На основі огляду наукових публікацій можна виділити ряд напрямів, які забезпечують подолання проблем управління.

Першу групу напрямів можна визначити як розробку систем підтримки прийняття концептуальних рішень, у рамках яких створюються нові методи та алгоритми оптимізації процесів. Їх вирішення пов'язане у першу чергу з подоланням проблеми невизначеності як зовнішньої так і внутрішньої інформації для системи управління ГЕ. Ця невизначеність має глобальний характер, що обумовлено загальним рівнем знань у області процесу електрозабезпечення як комплексу процесів, які описують фізичні, технологічні, геофізичні, соціальні та інші відомі та невідомі впливи на ГЕ. Невизначеність може носити будь-який характер, але на сучасному етапі можливо математично описати невизначеність лише двох типів: випадковість та нечіткість. Невизначеність типу випадковість застосовується до процесів, які пов'язані з появою подій, наслідки яких нам невідомі. Нечіткість виникає у наслідок неоднозначного рішення наслідків подій, які вже відбулися.

Інша група напрямів пов'язана з вирішенням проблеми ускладнення оптимізаційних задач. Зазначене призводить до необхідності проводити багатокритеріальну оптимізацію з пошуком паритетних рішень. Крім того, при оптимальному управлінні вимушено використовуються інтегральні значення параметрів протягом визначеного проміжку часу та прогнозні значення параметрів. Це накладає додаткові вимоги до отриманих рішень в плані їх стійкості до вихідних умов оптимізації, що обумовлює доцільність подальшого розвитку нечітких методів багатокритеріальної оптимізації, які забезпечують більш стійкі рішення.

Для практичного використання досить розповсюджені наступні моделі та методи

розрахунку ефективного управління режимами ГЕ:

1. Енергетичні моделі, що виконують розрахунок попиту і пропозиції.

2. Прогнозні моделі:

2.1. Енергетичні моделі для визначення економічних показників.

2.2. Моделі для розрахунку показників відновлювальних джерел енергії:

2.2.1. Моделі, що використовуються для сонячної енергетики.

2.2.2. Моделі, що використовуються для визначення енергії вітру.

2.2.3. Моделі, що використовуються для визначення енергії, отриманої від біомаси та біоенергії.

3. Оптимізаційні моделі.

4. Енергетичні моделі на основі нейронних мереж.

5. Моделі, що використовують для розрахунку скорочення викидів.

Найчастіше для отримання більш ефективних рішень щодо управління ГЕ декілька моделей об'єднують у більш складні.

Для моделювання процесів у реальному часі використовують:

1. Моделювання на базі програмних агентів.

2. Імітаційне моделювання.

3. Мережеве моделювання.

4. Оптимізаційне моделювання.

5. Моделі підтримки прийняття рішень.

Одним з основних напрямків підвищення ефективності функціонування ГЕ є вирішення оптимізаційної задачі оперативного ведення режиму по критерію мінімуму економічних витрат на функціонування за умови забезпечення безперервного процесу розподілення та задоволення потреб споживача з дотриманням вимог до надійності поставки та якості електричної енергії.

Бажаний результат може бути отриманий лише у випадку, коли оптимізація режиму здійснюється у реальному масштабі часу з урахуванням технологічних обмежень, які відповідають умовам роботи ГЕ. Але, у дійсності, існує проблема невизначеності вхідної інформації, яка використовується для розрахунку. Подолати цю проблему можна використовуючи нейромережеве моделювання, методи лінійного та нелінійного програмування. Загальним недоліком останніх є те, що вони дають лише частинні рішення.

Тому, крім оптимізації поточного режиму ГЕ, необхідно виконувати оптимізацію серії прогнозних режимів, що дозволить прийняти оптимальне рішення. Це завдання може бути вирішено за допомогою технологій штучних нейронних мереж.

### Література

1. Ramachandra T. V. RIEP: Regional integrated energy plan. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2009. №13. С. 285—317.

2. Кочовий А. Б. Оперативна оптимізація усталених режимів електричних мереж енергопостачальних компаній за умов невизначеності. Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. Львів: «Львівська політехніка». 2010. 17 с.

3. Лежнюк П. Д., Нетребський В. В. Застосування принципу найменшої дії для оптимізації режимів електроенергетичних систем. Вісник національного університету «Львівська політехніка». 2009. № 637. С. 44—50.

4. Мірошник О. О. Структура втрат електричної енергії та методика їх розрахунку. Вісник ХДТУСГ. Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України. Харків. ХДТУСГ. 2004. Вип. 27. Т. 1. С. 25—30.

5. Тимчук С. А., Черемисин Н. М. Совершенствование методологии поиска рациональных решений в условиях многокритериальности и неопределенности исходной информации на примере системы электроснабжения. Энергетика та електрифікація. 2013. №4. С. 53—60.

Никольский В. В., доктор технических наук, профессор, НУ «ОМА»

Лысенко В. Е., аспирант, НУ «ОМА»

Никольский М. В., кандидат технических наук, НУ «ОМА»

## ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ПРИВОД ВПУСКНОГО КЛАПАНА ДВУХТОПЛИВНОГО ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

При перевозке газа-метана LNG происходит его испарение. Для его утилизации осуществляется сжигание в ДВС, которые работают на двух сортах топлива. Для подачи газа в камеру сгорания используется электромагнитный клапан, срок эксплуатации которого не превышает 1-2 месяцев. Предлагается заменить электромагнитный привод на пьезоэлектрический.

Ключевые слова: впускной клапан газа, GAV, пьезоэлектрический привод

Безопасность эксплуатации судов – метановозов предполагает поддержание в грузовых танках постоянной температуры груза. Однако, газ испаряется и для его утилизации, как вариант, используют двухтопливные дизельные двигатели (тип DF), в которых газовое топливо впрыскивается через впускной газовый клапан (GAV) с электромагнитным приводом фирмы Woodward. В процессе эксплуатации наблюдается ухудшение рабочих характеристик впускных клапанов, а именно: залипание электромагнитного клапана, которое приводит к износу пары клапан-седло, а также изменение свойств пружин.

При длительной эксплуатации клапана с электромагнитным приводом происходит ухудшение его эксплуатационных характеристик. Восстановление его рабочих характеристик не возможно в судовых условиях. Такие работы выполняются на заводах разработчика, с привлечением испытательных стендов.

Нами выдвинута гипотеза, что использование пьезоэлектрического привода впускного клапана вместо электромагнитных, позволит устранить их недостатки.

В [1] приведены сравнительные данные электромагнитных и электромеханических приводов с наборными пьезостолбами и двигателями: удельное усилие к площади активной поверхности пьезодвигателя на два порядка превосходит усилия, развиваемые электромагнитами и электродвигателями. Применение пьезопривода позволит увеличить срок службы клапана, сохранить характеристики его работы (табл. 1) и уменьшить эксплуатационные затраты на обслуживание.

Таблица 1

Эксплуатационные требования к электрической части клапана

Время до полного открытия / закрытия	0,002 сек (max)
Величина перемещения пластины клапана	~ 0,4 мм (0,38-0,43 мм)
Максимальное давление газового топлива P1/продувочного воздуха P2	5 Бар /3 Бар (абсолют)
Максимальная разница давлений P1-P2	2 Бар
Максимальная температура газового топлива	80 °С
Рабочая температура газового топлива / продувочного воздуха	5-45 °С /30-55 °С

Дальнейшие исследования будут направлены на разработку программно-технического комплекса по управлению пьезоприводом впускным клапаном газа и изучения возможности работы клапана в заданных условиях.

### Литература

1. Никольский В. В. Основи створення пристроїв п'єзоактивної механіки для систем керування двигунами внутрішнього згорання. Автореф. дис. ... док.. техн. наук. 05.13.05. ОНПУ. Одеса. 2005. 36 с.

Нікольський В. В., доктор технічних наук, професор, НУ «ОМА»  
Накул Ю. А., аспірант, НУ «ОМА»  
Стовманенко В. О., студент, ЧНУ імені Петра Могили

## СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ЗАВАНТАЖЕННЯ КОНТЕЙНЕРОВОЗІВ “SHIPLOAD”

**Анотація.** Завантаження контейнеровозів вимагає координації багатьох складових. Недбалість під час цього процесу приводе до пошкодження контейнерів, фінансових втрат, які пов'язані з затримками виходу з порту та лоцману. Розроблено метод контролю завантаження контейнеровозу та на його основі спроектовано систему, що включає програму для керування процесом завантаження та має можливості індикації, структуру файлів, що міститимуть необхідну для роботи програми інформацію, модулі відслідковування координат контейнера та систему бездротового зв'язку.

**Ключові слова:** завантаження контейнерів, бездротовий зв'язок, ІНС, декартовий простір.

З появою суден контейнеровозів з'явилися проблеми із їх завантаженням, які не вдалося вирішити і до теперішнього часу [1]. Так, не завжди можливо оперативного встановити, яка кількість контейнерів знаходиться на борту; чи правильно вони розміщені. Для отримання актуальної та точної інформації потрібно посилювати контроль над процесом. Це не завжди вдається, так як в гонитві за зниженням собівартості перевезень судновласники скорочують екіпаж при одночасному збільшенні тоннажу. Все це призводить до затримок лоцмана в процесі обслуговування судна і збільшення часу використання буксирів. У підсумку отримуємо додаткові витрати на перевезення.

Окрім того, на багатьох суднах капітан або його помічник мають безпосередньо спостерігати за процесом задля того, щоб пересвідчитися в тому, що відповідний контейнер було встановлено саме на попередньо вказане місце, а для перевірки закріплення треба було направити декілька людей, які б змогли все оглянути в безпосередній близькості до контейнера [2].

Зараз існують програми, які дозволяють графічно відображати розміщення контейнерів в зонах зберігання на судні, але заносити дані про перебування цих вантажів треба вручну, що приховує у собі загрозу помилок з неухваленості. Також програми можуть пропонувати оптимізацію розміщення контейнерів, але вже після того, як дані про нього було внесено. А якщо контейнер встановлено і лише потім внесено в програму, то доведеться переставляти його, тобто витратити додатковий час та ресурси.

Тому питання щодо встановлення контролю над процесом завантаження в портах для забезпечення правильності розміщення, дотримання показань ваги на різних зонах судна, дотримання правил техніки безпеки при розміщенні контейнерів з вантажами різних класів “небезпечності” є актуальним.

Нами створено модель роботи комп'ютерної системи завантаження контейнеровозу та план її реалізації із зазначенням алгоритму роботи. Реалізовано структуру файлів для збереження інформації про судно. Бездротові мережі та інерційні навігаційні системи покладено в основу реалізації обраного нами координатного методу. Запропоновано встановлення датчиків ІНС на захваті крану [3].

Планується проведення експерименту, який демонструє приклад використання системи з використанням малопотужних аналогів у зменшеному масштабі.

### Література

1. Нікольський В. В., Нікольський М. В., Накул Ю. А. Система підтримки прийняття рішення по навантаженню великотоннажного контейнеровоза. Наукові праці ЧДУ імені Петра Могили. Серія: комп'ютерні технології. Миколаїв. 2016. Вип. 271. Т. 283. С. 60—63.
2. Нікольський В. В., Накул Ю. А., Стовманенко В. О. Система контролю завантаження контейнеровозів. Судовождение. Одесса. ОНМА. 2017. Вип. 27. С. 127—136.
3. Накул Ю. А., Стовманенко В. О. Модель системи завантаження крупнотоннажних суден. Наукові праці ЧДУ імені Петра Могили. Серія: комп'ютерні технології. Миколаїв. 2016. Вип. 275. Т. 287. С. 27—33.



## Секція 8 «Підготовка кадрів за спеціальністю автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

УДК 004.9:377.169.3

**Бобрівник К. С.**, кандидат технічних наук,  
Національний університет харчових технологій  
**Чорнобай К. Ю.**, студент,  
Національний університет харчових технологій  
**Грибков С. В.**, кандидат технічних наук, доцент,  
Національний університет харчових технологій

### ПРОЕКТУВАННЯ МОДУЛЯ ФОРМУВАННЯ НАБОРУ ІНДИВІДУАЛЬНИХ ЗАВДАНЬ ДЛЯ СТУДЕНТІВ ПРИ ВИВЧЕННІ ТЕХНІЧНИХ ДИСЦИПЛІН

**Анотація.** В роботі спроектовано модуль формування набору унікальних індивідуальних завдань для кожного студента на потоці при вивченні технічних дисциплін, що дає змогу підняти рівень знань студентів за рахунок зменшення відсотка використання чужих робіт. Модуль формування набору унікальних завдань запропоновано включити до системи підтримки технічних навчальних дисциплін для денної та заочної форми.

**Ключові слова:** модуль системи, система підтримки вивчення технічних дисциплін.

Із року в рік виникає проблема підвищення якості освіти у вищих навчальних закладах у всьому світі. В останні десятиліття набули розвитку електронні засоби навчання E-learning (Electronic Learning), що призвело до появи і поширення дистанційної системи навчання. Є різні засоби які дають змогу підвищити якість навчання, а саме – це спеціалізовані тренажери та електронні мультимедійні засоби [1]. А також обов'язковою умовою для технічних спеціальностей підходом найважливішою умовою при засвоєнні навчального матеріалу і формування відповідного рівня знань залишається виконання індивідуальних завдань. Це забезпечує професійний розвиток та підкріплює засвоєння вивченого матеріалу. Незважаючи на актуальність цієї проблеми, для дисциплін інженерно-технічного і технологічного профілю підготовки розроблено недостатньо електронних засобів, що мають універсальний характер і можуть бути застосовані у процесі навчання.

У дисциплінах пов'язаних з інформаційними технологіями, часто виникає проблема коли викладачу необхідно сформувати різні варіанти індивідуальних завдань, якщо це стосується однієї групи то тут не виникає ніяких проблем, а от якщо необхідно сформувати завдання, для потоку студентів якому викладається певна технічна дисципліна, тоді виникає проблема у формуванні декількох десятків завдань, що не повинні повторюватись. Наприклад, для студентів спеціалізації «Комп'ютерні науки», необхідно на протязі навчання підготувати сотні завдань щорічно подібного типу для використання у різних дисциплінах. Буває фізично викладач не в змозі підготувати таку кількість індивідуальних завдань, щоб вони не повторювались та відповідали рівню знань студента. А також відповідно до адаптивного підходу до навчання бажано, щоб рівень завдань відповідав рівню знань студентів. Дана проблема виникає при формуванні індивідуальних завдань при виконанні лабораторних, практичних та контрольних робіт студентами денної та заочної формами навчання. Як правило, кожен викладач має певний набір індивідуальних завдань, кількість яких знаходиться в межах від 15 до 30 варіантів, а студент отримує індивідуальне завдання за номером у списку журналу групи, або за номером останніх цифр залікової. За довгі роки викладання, викладачами були придумані декілька прийомів для уникнення повторення варіантів між студентами одного потоку, а саме це розрахунок варіанту за певною формулою або ж зміни послідовності завдань у списку, що надається для певної групи. Основним мінусом таких підходів є те, що викладач затрачає значну кількість часу, все-таки відсутня адаптивність завдань до рівня знань студентів і відбувається часте повторення завдань навіть у межах однієї групи, що виключає повністю

або частково самостійне вирішення власних завдань. Все це призводить до зменшення рівня кваліфікації підготовки майбутніх спеціалістів.

Незважаючи на велику кількість створених засобів навчання, майже всі вони мають у собі фіксований набір завдань, що має 90-100% повторення для кожного студента, а формування нових завдань потребує значну кількість корисного часу викладача, причому щороку.

Таким чином, зазначена актуальність побудови модуля формування індивідуальних завдань забезпечить формування унікальних наборів завдань для кожного студента, що будуть мати мінімальний відсоток повторення в межах групи, та забезпечить підвищення рівня самостійного вивчення і виконання індивідуальних завдань. Це також дасть змогу звільнити викладача від рутинної праці, і підвищить його продуктивну наукову діяльність.

Формалізуємо дану задачу наступним чином: кожна дисципліна технічного напрямку, в залежності від годин виділених для її вивчення, може включати в себе  $n$  лабораторних робіт за навчальний семестр. Кожна лабораторна робота може включати в себе  $k$  кількість завдань. На потоці займаються  $t$  кількість студентів. Необхідно  $t$  кількість варіантів завдань з мінімальним повторенням завдань, що відповідають кількості студентів. Отже, задача полягає в тому, що на початку навчального року або кожного семестру необхідно сформувати набір варіантів з мінімальним повторенням завдань в порівнянні з попереднім періодом.

Для розв'язку поставленої задачі авторами розроблено програмний модуль, що здійснює формування наборів варіантів та записує їх до відповідної таблиці бази даних. Для того, щоб сформувати кожний варіант з мінімальним повторенням використовується алгоритм перестановок «Algorithm 235: Random permutation», що є модифікацією алгоритму Фішера-Єйтса (Frank Yates), був розроблений Річардом Дурштенфельдом (Richard Durstenfeld). Модифікований алгоритм скорочує часову складність алгоритму до  $O(n)$ , в порівнянні зі складністю основного  $O(n^2)$  [2]. Псевдокод перестановки номерів завдань для поточного варіанту з  $[n*k]$  елементів (індекси  $0..n*k-1$ ) має вигляд:

для всіх  $i$  від  $n - 1$  до  $1$  виконати:  
     $j \leftarrow$  випадкове число  $0 \leq j \leq i$   
    обміняти місцями  $j$ -й елемент з  $i$ -м елементом.

Перед записом сформованого варіанта перевіряється наявність отриманого варіанта, якщо такого не має, то відбувається запис його до таблиці, і таким чином ми отримуємо новий варіант завдання. У випадку, коли новий сформований варіант не є унікальним, то відбувається застосування алгоритму «Algorithm 235: Random permutation» для перестановок номерів завдання, для номера лабораторних, де збіглися їх варіанти.

Продовження алгоритму відбувається до тих пір, поки не буде сформовано унікальних варіантів завдань для потоку. Сформовані варіанти завдань записані у відповідну таблицю. Студент потоку має власний варіант із загального списку, що вводиться у систему для отримання завдання, що формується системою на основі згенерованої послідовності варіантів та закріплюється за студентом до закінчення курсу. При перевірці викладач так само може перевірити на відповідність варіанта виконаного завдання.

Перелік варіантів завдань заносяться у базу даних викладачем один раз, а потім за необхідністю редагуються та доповнюються. На початку кожного року в систему завантажуються список студентів потоку для вивчення даної дисципліни, а порядковий номер у цьому списку є номером варіанта.

Створений модуль формування набору унікальних індивідуальних завдань для кожного студента на потоці при вивченні технічних дисциплін дасть змогу підняти рівень знань студентів за рахунок зменшення відсотка використання чужих робіт. Його буде включено до системи підтримки технічних навчальних дисциплін для студентів спеціалізації «Комп'ютерні науки» денної та заочної форми.

## Література

1. Udaya Sri K., Vamsi Krishna T. V. E-Learning. Technological Development in Teaching for school kids. International Journal of Computer Science and Information Technologies. 2014. 6124-6126.
2. Black, Paul E. Fisher-Yates shuffle. Dictionary of Algorithms and Data Structures. National Institute of Standards and Technology. May 2017. Proceedings. Mode of access: <https://xlinux.nist.gov/dads/HTML/fisherYatesShuffle.html>. Last access. 2017. Title from the screen.

**Болбот І. М.**, кандидат технічних наук, доцент,  
Національний університет біоресурсів і природокористування України  
**Лисенко В. П.**, доктор технічних наук, професор,  
Національний університет біоресурсів і природокористування України  
**Решетюк В. М.**, кандидат технічних наук, доцент,  
Національний університет біоресурсів і природокористування України  
**Цицюрський Ю. Л.**,  
Національний університет біоресурсів і природокористування України

## **ФОРМУВАННЯ ФАХОВИХ КОМПЕТЕНЦІЙ МАЙБУТНІХ ІНЖЕНЕРІВ ЗА СПЕЦІАЛЬНІСТЮ 151 «АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ»**

**Анотація.** Обґрунтовано проблематику формування фахових компетенцій майбутніх інженерів за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»; визначено фактори формування фахових компетенцій.

**Ключові слова:** система вищої освіти, інноваційність, фахові компетенції, підготовка фахівців.

Система вищої освіти є одним із головних соціальних інститутів, покликаних забезпечити якісне входження молодого покоління в сферу суспільних відносин. Підготовка фахівців магістрів здійснюється в університетах на основі «Положення про освітньо-кваліфікаційні рівні» (1998 р. зі змінами 2013 р.) на базі освітньо-кваліфікаційного рівня бакалавра, спеціаліста. Магістратура в Україні знаходиться на етапі становлення, зокрема у питаннях організації та функціонування, формування освітньо-професійних програм, науково-методичного забезпечення.

Сучасному стану розвитку системи освіти України характерно прийняття нової Національної рамки кваліфікацій (2011 р.), Закону України «Про вищу освіту» (2014 р.), нового переліку спеціальностей («Про затвердження переліку галузей знань і спеціальностей, за якими здійснюється підготовка здобувачів вищої освіти» (2015 р.), змінюється вся система стандартів вищої освіти.

Серед тенденцій суспільства, які суттєво впливають на освіту, необхідно підкреслити активний розвиток мобільних технологій, створення відкритого електронного контенту [1], появу віртуальних освітніх ігрових технологій, використання соціальних мереж для навчання та ін.

Таким чином, виникла необхідність у якісно новій підготовці фахівців, яка дозволяє поєднувати фундаментальність професійних базових знань із інноваційністю мислення й практико-орієнтованим, дослідницьким підходом для вирішення конкретних освітніх проблем.

Дослідження вимагає сутність та структура поняття «фахова компетентність майбутніх інженерів зі спеціальності автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» та організаційно-педагогічні умови її формування в умовах магістратури, що забезпечить успішну професійну діяльність в умовах швидкого розвитку технологій.

Необхідно, щоб у процесі навчання майбутнього інженера зі спеціальності автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології відбувалося його становлення як особистості [2], професіонала, готового до змін, зокрема у системі освіти.

Формування фахової компетентності майбутніх інженерів зі спеціальності автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології визначається наступними факторами [3]:

- новою освітньою парадигмою, яка зумовлює перехід до неперервної відкритої освіти і ґрунтується на інтеграції інформаційно-комунікаційних технологій, упровадженні особистісно зорієнтованого та компетентнісного підходів до навчання, інноваційних освітніх практик, що вимагає формування відповідних компетентностей у інженерів;

- змінами у законодавстві, що регулюють систему вищої освіти, відсутністю відповідних професійних стандартів, розроблених науково-методичних матеріалів, що враховують, зокрема освітні потреби сучасного покоління студентів;

- процесом інформатизації освіти як об'єктивним складником розвитку інформаційного суспільства та необхідністю забезпечення рівного і повсюдного доступу студентів до різноманітних інформаційних ресурсів;

- інтенсивним розвитком системи магістратури та необхідністю розроблення методики навчання майбутніх інженерів зі спеціальності автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології, зорієнтованої на розвиток фахової компетентності майбутнього професіонала.

### **Література**

1. Биков В. Ю. Оцінювання компетентності в системі професійної освіти. *Piotrkowskie Studia Pedagogiczne. Piotrkow TRybunalski: Naukowe Wydawnictwo Piotrkowskie przy Filii Akademii Swietokrzyskiej*. 2003. Tom 10 Didaktyka informatyki. С. 153—162.

2. Степко М. Ф., Болюбаш Я. Я., Шинкарук В. Д. та ін. За ред. В. Г. Кременя. Вища освіта України і Болонський процес: навчальний посібник. Тернопіль. Навчальна книга – Богдан. 2004. 384 с.

3. Зеер Э. Ф., Павловская А. М., Сыманюк Э. Э. Модернизация профессионального образования: компетентностный подход: учебное пособие. Москва. Московский психолого-социальный институт. 2005. 216 с.

**Булачок М. О.,**  
Національний університет біоресурсів і природокористування України  
**Лисенко В. П.,** доктор технічних наук, професор,  
Національний університет біоресурсів і природокористування України  
**Решетюк В. М.,** кандидат технічних наук, доцент,  
Національний університет біоресурсів і природокористування України

## **ДО ПИТАННЯ ПРО ПСИХОЛОГІЧНУ ПІДГОТОВКУ СТУДЕНТІВ ІНЖЕНЕРНИХ ФАКУЛЬТЕТІВ (НА ПРИКЛАДІ АНКЕТУВАННЯ СТУДЕНТІВ ЗА СПЕЦІАЛЬНІСТЮ 151 «АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ»)**

**Анотація.** Обґрунтовано проблематику психологічної підготовки майбутніх інженерів за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»; визначено фактори і побудовані словесні моделі учасників навчально-виховного процесу з погляду респондентів певної спрямованості.

**Ключові слова:** студентський колектив, особистість, спрямованість особистості, можливості особистості, психологічні особливості.

Управління студентським колективом (групою студентів, діяльність яких свідомо координується для досягнення соціально-значимої мети) – являє собою складний навчально-виховний процес. З іншого боку – це особливий вид діяльності, що перетворює неорганізований потік студентів в ефективну, цілеспрямовану і продуктивну групу. Викладачі та менеджери (деканат, завідувачі кафедрами) факультетів, які керують цим процесом повинні визнавати, що кожний студент являє собою особистість з неповторними переживаннями та потребами. Інакше кажучи, навчально-виховний процес – це взаємодія двох суб'єктів (викладачів та студентів), яка направлена на реалізації запитів і вимог, що формуються кваліфікаційними вимогами до підготовки фахівців.

Джерелами етично-психологічних хвороб студентської групи, негативної її поведінки є певні думки і почуття студентів. Ефективний шлях зміни поведінки студентів базується на пізнанні їх внутрішнього світу та вмінні перебудувати його відповідним чином. Тому висока психологічна компетентність керівників навчально-виховного процесу має важливе значення. Для цього їм потрібні:

- ✓ знання способів самооцінки та самоудосконалення студента, як особистості;
- ✓ комплекс знань і навичок спілкування з людьми, які стосуються зворотнього зв'язку між суб'єктами діяльності та продукування ділових стосунків;
- ✓ психолого-педагогічна компетентність, пов'язана з реалізацією функції вихователя студентів, особливо як регулятора психологічного мікроклімату в колективі;
- ✓ знання психологічних закономірностей функціонування колективу, що використовуються для оцінювання стосунків між особистостями та гармонізації групових та міжгрупових взаємодій.

У психології окрім поняття "людина" вживається більш вузьке поняття "особистість". Особистість являє собою суспільну істоту [1]. Їй притаманні такі важливі психологічні характеристики: *по-перше*, при всій пластичності психічних проявів все ж виразно проступає стійкість властивостей особистості, що, зокрема, дозволяє передбачувати поведінку тієї або іншої людини в певних ситуаціях; *по-друге*, особистість являє собою те ціле, де кожна риса тісно взаємопов'язана з іншими; *по-третьє*, вона виявляється в багатогранній діяльності, направленої на всебічне пізнання, а також перетворення як себе, так і навколишнього світу.

Особистість сучасної людини - надзвичайно складне ціле. Але в ньому можна виділити три основних блоки, що характеризують зміст головних сторіноособистості. *Перший* – спрямованість особистості, що являє собою систему її відносин до навколишньої дійсності. Сюди відносяться мотиви поведінки (причини, що спонукають до тієї або іншої діяльності), зокрема потреби, почуття, інтереси. *Другий* – можливості особистості, тобто психологічні передумови успішності її діяльності, в т.ч. професійної, основою яких виступають здібності.

*Третій* – стиль, або психологічні особливості поведінки, що визначаються темпераментом і характером [1].

Таким чином, спрямованість особистості є сукупність стійких мотивів, які орієнтують її відносно тих або інших ситуацій, характеризуються її інтересами, схильностями, переконаннями, ідеалами, в яких постає світогляд [2]. Спрямованість особистості визначає цілі, які ставить перед собою людина, прагнення, які їй властиві, відповідно до яких вона діє. Спрямованість як система відносин особистості до дійсності, являє собою наступну тріаду: відношення до інших людей як членів колективу; ставлення до праці і його результатів; відношення до самого себе. У відповідності до цього розрізняють спрямованість на взаємодію (ВД), ділову спрямованість на задачу (СЗ) і спрямованість на себе (СС).

Для проведення психологічного тестування респондентами виступали студенти третього курсу спеціальності «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» в кількості 41 особи. Відповіді на запитання респонденти формували у лист відповідей.

Метою психологічного тестування було:

- виявити певні категорії спрямованості особистості;
- визначити позицію респондентів у відношенні до інших людей як членів колективу;
- виявити та сформулювати їх відношення до праці та її результатів;
- виявити відношення респондента до самого себе;
- сформулювати моделі оптимальних підходів до особистості в реалізації навчального та виховного процесів.

Наведемо характеристику особистостей, що розрізняють у класичній психології [3].

Спрямованість на себе – характеризується переважанням мотивів власного прагнення, спрямування до особистої першості та престижу. Така особистість частіше буває зайнята сама собою, своїми почуттями, переживаннями та мало реагує на потреби оточуючих її людей, байдужа до колег, своїх обов'язків. У роботі бачить перш за все можливість задовольнити свої домагання не враховуючи інтереси колег.

Спрямованість на взаємодію – у цьому випадку вчинки особистості визначаються її потребою в спілкуванні, бажанням підтримувати добрі стосунки з колегами. Такий працівник проявляє інтерес до спільної діяльності, хоча і не завжди сприяє успішному виконанню завдання і його фактична допомога може бути мінімальною.

Ділова спрямованість, або спрямованість на задачу – відображає переваги мотивів, що породжуються діяльністю, захоплення процесом роботи, устремлінням до пізнання, оволодінням новими навиками та уміннями. Така особистість орієнтується на співробітництво з колективом та добивається найбільшої продуктивності праці підлеглих, намагається обґрунтовано довести свою точку зору, яку вважає корисною для виконання завдання.

Провівши аналіз отриманих результатів, ми зробили наступні **висновки**:

1. Аналізуючи приклади особистості студентів 3-го курсу, можна констатувати той факт, що особистість значима для інших, як суб'єкта діяльності в навчально-виховному процесі.
2. Набувши свідомості, людина не стає особистістю. Тому в процесі навчання задача полягає в тому, щоб студенти при допомозі викладача набули технологій навчання, а не накопичували себе певними базами даних і детермінованими методами підходів до стандартних ситуацій.
3. Аналіз математичних моделей певних спрямованостей особистості показав неадекватність їх експериментальним даним. Це свідчить про те, що при моделюванні певних спрямованостей особистості, окрім детермінованої складової – певної зайнятості особистості, потрібно враховувати і ймовірнісну складову - мотивацію і характеріологічні риси особистості.
4. При розгляді особистості потрібно ідентифікувати біологічну та соціальну її складові, як такі що формують та створюють умови для гармонійного розвитку особистості.
5. Біологічна та соціальна складові особистості можуть прискорювати або уповільнювати її розвиток.
6. Різницю в рівнях здібностей необхідно враховувати при формуванні груп, студентських рад.

### Література

1. Крутецкий В. А. Психология. Москва. 1986. 325 с.
2. Краткий психологический словарь. Москва. 1985. 199 с.
3. Обозов Н. Н., Щекин Г. В. Психология работы с людьми: учебное пособие. 5-е изд. Киев. МАУП. 1999. 152 с.

Глазунова О. Г., доктор педагогічних наук, професор,  
Національний університет біоресурсів і природокористування України  
Ковалюк Т. В., кандидат технічних наук, доцент,  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

## ПІДГОТОВКА ІТ-ФАХІВЦІВ У ВИЩОМУ НАВЧАЛЬНОМУ ЗАКЛАДІ АГРАРНОГО СПРЯМУВАННЯ: КОМПЕТЕНТІСНИЙ ПІДХІД

**Анотація.** Обґрунтовано проблематику, яка має місце при підготовці фахівців з ІТ-технологій у вищих навчальних закладах аграрного спрямування; показано, що основою е-СФ є не опис посадових обов'язків, а система компетентностей, оскільки такий підхід є більш гнучким; сформульовано вимоги щодо якості підготовки майбутніх ІТ-фахівців, які базуються на стандартах і рекомендаціях щодо забезпечення якості в європейському просторі вищої освіти.

**Ключові слова:** дослідницький університет, метаструктури кваліфікацій, профілі ІКТ-компетентностей, дескриптор, стандарт е-СФ.

Останні десятиріччя характерні підвищеною увагою до навчальних закладів з назвою «дослідницький університет».— це не лише навчальний заклад. Це конгломерат трьох складових: освіта, наука та інновації. Варто зауважити, що у пострадянських країнах формування таких навчальних закладів розпочалося лише на початку 21 сторіччя, що зумовлено рядом об'єктивних причин. В той час як у Європі та США концепція такого навчального закладу сформована на кілька десятирічь раніше. Зокрема, університеті імені Гумбольта, Гарвард, Йель, Стенфорд тощо. Досвід розвинутих країн свідчить, що вища освіта і наука, як спеціалізовані галузі діяльності без інтеграції та тісної взаємодії між собою і реальним сектором економіки втрачають дієздатність і стають менш конкурентоспроможними.

Європейські метаструктури кваліфікацій для сфери ІТ-освіти та їх гармонізацію зі стандартами в Україні досліджували українські та зарубіжні вчені [1, 2, 3]. Європейські профілі ІКТ-компетентностей (European ICT Professional Profiles) структуровані в 6 напрямках: бізнес-управління, технічне управління, проектування, розробка, обслуговування та підтримка. Кожний напрям містить ІКТ-профілі, які відповідають європейській рамці ІКТ-компетентностей. У відповідь на велику кількість кваліфікаційних рамок з інформаційно-комунікаційних технологій та описів портфоліо, які використовує європейський бізнес, було створено європейську рамку ІКТ-компетентностей (The European e-Competence Framework, далі – е-СФ).

Європейська рамка ІКТ-компетентностей являє собою структуру, яка може бути використана та визнана як компаніями, що виробляють послуги та продукцію ІКТ, так і компаніями, які використовують ІКТ в своїй основній діяльності. На даний час актуальною є рамка ІКТ-компетентностей версії 3.0. Вона фокусується на компетентностях необхідних для розробки, виконання та управління ІТ-проектами і процесами, експлуатування інформаційно-комунікаційних технологій, прийняття рішень, розробки стратегій та передбачення нових сценаріїв.

Основою е-СФ є не опис посадових обов'язків, а система компетентностей, так як такий підхід є більш гнучким. В даний час в компаніях ідентичні назви посад мають на увазі різні описи посадових обов'язків і навпаки. Більш того, назва посад і опис посадових обов'язків часто неадекватно відображають вимоги того або іншого робочого місця. Бізнес-оточення в ІКТ-секторі є дуже складним і піддається постійним змінам; складність і зміни роблять неефективними фіксовані і жорсткі структури, пов'язані з роботою ІКТ-спеціалістів, для опису робочих завдань в рамках міжнародного середовища. Компетентності, навпаки, є загальними і досить всеосяжними для того, щоб бути інтегрованими з будь-якої організаційної структурою. Визначення компетентностей допомагають реагувати на зміни і планувати такі зміни в майбутньому. Більш того, різні комбінації компетентностей можуть формувати описи різних

посад, які необхідні організаціям, забезпечуючи при цьому гнучкість. Метою е-CF було надати загальну і всеосяжну систему компетентностей, яка може бути адаптована і перероблена для різних бізнес-сценаріїв в ІКТ-секторі.

Структура е-CF ґрунтується на 4-х дескрипторах. Ці дескриптори відображають різні вимоги, пов'язані з рівнями планування бізнесу, управління кадрами, в доповненні до інструкцій з посадовим обов'язкам, і специфікуються наступним чином:

Дескриптор 1: 5 областей ІКТ-компетентностей, відповідних бізнес-процесам в інформаційних системах: планування – розробка - запуск - впровадження – управління.

Дескриптор 2: Набір еталонних компетентностей для кожної галузі ІКТ-компетентностей. Всього ідентифіковано 40 компетентностей для загальних еталонних визначень компетентностей в е-CF.

Дескриптор 3: Професійний рівень кожної компетентності забезпечує співвіднесення з європейською специфікацією – рівні е-1 до рівня е-5 е-CF відповідають рівням з 3-го по 5-й EQF (European Qualification Framework).

Дескриптор 4: Приклади знань і навичок, які відповідають кожній компетентності, визначені як обов'язкові рамкові компоненти для надання зразка. Вони не є вичерпними.

Компетентності е-CF пов'язані з компетентностями, які необхідні на робочому місці. всього визначено 5 рівнів: від рівня е-1 до рівня е-5. Вони відповідають кваліфікаційними рівнями 3-8 європейської рамки кваліфікацій (EQF); рівні EQF 1-2 не застосовні до ІКТ-сектору. Оскільки цілі і перспективи у систем EQF і е-CF різні, рівні в цих системах не ідентичні. Рівні EQF відображають аспекти кваліфікацій, а рівні в е-CF аспекти компетентностей, які визначають роботодавці на робочих місцях. Тим не менш, оскільки кваліфікації пов'язані з розвитком компетентностей, між визначеннями кваліфікацій і компетентностей в цих двох системах також існує зв'язок.

Стандартом е-CF пропонується шаблон для опису кожної компетентності, які можна доповнювати або адаптувати відповідно до галузі застосування, зокрема, для галузі сільського господарства, яка потребує специфічних знань та вмінь від ІТ-фахівців, які пов'язані зі специфікою галузі та сфери застосування ІТ-технологій у ній.

Порівнюючи процес підготовки ІТ -фахівця з іншими спеціальностями, слід відмітити низку особливостей, які пов'язані з швидкою зміною технологій програмування, коли технологія, у якій програміст був професіоналом, стає практично незатребуваною.

Об'єктивна суспільна значущість якісної професійної підготовки студентів ІТ-спеціальностей до професійної діяльності в агропромисловій галузі, фактори глобалізації та євроінтеграції, зумовили необхідність розробити, теоретично обґрунтувати систему вимог щодо підготовки майбутніх фахівців з інформаційних технологій до професійної діяльності в агропромисловій галузі.

Соціальне замовлення на ІТ-фахівців для виконання професійної діяльності в аграрній галузі зумовлене необхідністю підготовки кадрів, здатних проектувати, розробляти та супроводжувати інформаційні системи і технології, які використовуються у рослинництві, тваринництві та інших галузях агропромислового виробництва.

Вимоги щодо якості підготовки майбутніх ІТ-фахівців базуються на стандартах і рекомендаціях щодо забезпечення якості в європейському просторі вищої освіти (ESG), розробленими Європейською асоціацією із забезпечення якості вищої освіти, та Закону України «Про вищу освіту».

## Література

1. Глазунова О. Г. Теоретико-методичні засади проектування та застосування системи електронного навчання майбутніх фахівців з інформаційних технологій в університетах аграрного профілю. Автореферат дис. д. пед. наук. Інститут інформаційних технологій і засобів навчання НАПН. 2015. 41 с.
2. Chaikovska O., Kovaliuk T. Modernization and integration of IT education in Ukraine to international and Europe educational environment: problems and perspectives / IFIP TC3 Working Conference. New Culture of Learning: Computing and Next Generations. Vilnius. Lithuania. 2015. 61-67.
3. Голубенко О., Морозова Т. Європейські метаструктури кваліфікацій для сфери освіти. Вища школа. 2007. № 2. С. 37—45.



## МАГІСТЕРСЬКА ПРОГРАМА «НАУКА ПРО ДАНІ»

**Анотація.** Розглянуто доцільність ведення нової магістерської програми «Наука про дані» для магістрів, що навчаються за спеціальністю «Комп'ютерні науки». Висвітлено основні напрями навчання з цієї програми

**Ключові слова:** інформаційні системи, інтелектуальний аналіз, OLAP, DataMining, великі дані.

**Постановка проблеми.** У 2006 році у Національному університеті біоресурсів і природокористування України розпочалася підготовка бакалаврів за спеціальністю «Інформаційні управляючі системи і технології», яка через невеликий час отримала назву «Комп'ютерні науки». Натепер магістранти, які навчаються за цією спеціальністю, мають можливість набувати знання за програмою «Наука про дані». З веденням нової магістерської програми виникають певні проблеми: чому саме така назва програми і як вона пов'язана з самою спеціальністю; чи затребувані фахівці, що володіють відповідними знаннями; які дисципліни мають викладатися у межах цієї програми.

**Суть дослідження.** Дослідимо зв'язок комп'ютерних наук з наукою про дані. Термін «комп'ютерні науки» (французькою «інформатика») виник у 60-х рр. у Франції для назви галузі, що пов'язана з обробкою інформації за допомогою електронно-обчислювальних машин (ЕОМ), та створений шляхом злиття двох слів «інформація» та «автоматика». Галузь інформаційних технологій, до якої і має пряме відношення спеціальність «Комп'ютерні науки», займається створенням, розвитком і експлуатацією інформаційних систем. Тому інформаційні технології почали активно розвиватися з 1960-х років, разом з появою і розвитком перших інформаційних систем (ІС). Розвиток інтернету, а також інвестиції в інфраструктуру і сервіси викликали бурхливе зростання галузі ІТ в кінці 1990-х років [1]. Наука про дані - розділ інформатики, що вивчає проблеми аналізу, обробки і представлення даних в цифровій формі. Об'єднує методи з обробки даних в умовах великих обсягів і високого рівня паралелізму, статистичні методи, методи інтелектуального аналізу даних і додатки штучного інтелекту для роботи з даними, а також методи проектування і розробки баз даних [2]. Початком формування цієї дисципліни вважається 1966 рік, коли був заснований Комітет з даних для науки і техніки (CODATA), а перше введення терміну відноситься до 1974 року у книзі Петера Наура, в якій він явно визначив науку про дані як дисципліну, яка вивчає життєвий цикл цифрових даних - від появи до перетворення для представлення в інших областях знань. Однак, тільки в 1990-і роки термін, що позначає дисципліну, набув широкого вживання, і лише на початку 2000-х став загальноновизнаним, перш за все, завдяки статті статистика Bell Labs Вільяма Клівленда, в якій він опублікував план розвитку технічних аспектів статистичних досліджень і виділив науку про дані як окрему академічну дисципліну, в якій ці технічні аспекти повинні бути сконцентровані. 1970-і, 1980-і, 1990-і роки знаменують потужний розвиток технологій баз даних. Це суттєво впливає і на розвиток технологій інформаційних систем. Натепер використовують складні за своєю організаційною структурою та технічними засобами реалізації ІС. Основна мета таких систем – забезпечити максимальну автоматизацію процесу обробки інформації. Основний користувач ІС – спеціаліст тої чи іншої галузі. Саме для нього створюється і впроваджується ІС. З іншого боку, ІС підвищує ефективність і прибутковість бізнесу, завдячуючи автоматизації важливих процесів обробки інформації. Десятки років використання у різних галузях інформаційних систем призвело до появи побічного ефекту – гір даних. І відповідно закону переходу кількісних змін у якісні в діалектичному матеріалізмі, можна сподіватися, що ці гори наповненні знаннями, тобто дані перейшли у знання. Саме тому, починаючи з 1990-х років і дотепер з'являються нові технології, пов'язані так чи інакше з аналізом даних. Споживачем цих технологій, як і систем інтелектуального аналізу даних, є топ-менеджмент підприємств. Такі системи у будь-якій галузі дозволяють обґрунтовано, спираючись на накопичені дані, приймати

рішення щодо розвитку країни, окремої корпорації, окремої галузі, підприємства, державної установи тощо.

З початку 2010-х років, багато в чому завдяки популяризації концепції «великих даних», наука про дані розглядається і як практична міжгалузева сфера діяльності, притому спеціалізація «вченого за даними» з початку 2010-х років вважається однією з найпривабливіших, високооплачуваних і перспективних професій. Фахівці рівня магістр зі спеціалізації «Наука про дані» здатні виконувати широке коло обов'язків і займати посади Data Scientist, Business Analyst, Technical Lead. Натепер в Україні лише починає розвиватися галузь інтелектуальної обробки даних. Але, враховуючи той факт, що за десятки років використання інформаційних технологій підприємствами та різними установами, накопичена величезна кількість інформації, керівники все більше і більше розуміють, що така інформація містить у собі знання, які можуть використовуватися для успішного управління.

Розглянемо три основні концепції, пов'язані з інтелектуальним аналізом даних.

- *OLAP* – аналіз даних у режимі реального часу; пов'язаний з концепцією сховищ даних, які зосереджують у собі увесь інформаційний потік, що супроводжує процеси у тій чи іншій галузі, у тому чи іншому виробництві, у тій чи іншій корпорації; добре зарекомендувала себе для розуміння ретроспективних даних та для перевірки гіпотез;

- *Data Mining* – добування знань (мається на увазі добування знань з накопиченої роками інформації); спирається на ретроспективні дані для отримання відповідей на питання про майбутнє; головна задача – знаходження нових, нетривіальних знань;

- *великі дані* - сукупність підходів, інструментів і методів обробки структурованих і неструктурованих даних величезних обсягів і значного різноманіття, ефективних в умовах безперервного приросту, розподілу по численних вузлах обчислювальної мережі.

На початку появи цих концепцій і відповідних технологій кожна з них розвивалася як окрема дисципліна. З 2010 року їх почали розглядати як складові науки про дані [3]. Але не лише ці три концепції є складовими. У загальному підсумку науку про дані визначають як сукупність таких дисциплін (наукових напрямів):

- 1) фундаментальні математичні дисципліни;
- 2) математична статистика;
- 3) програмування;
- 4) штучний інтелект;
- 5) OLAP;
- 6) Data Mining;
- 7) великі дані.

**Висновки.** Наука про дані є наслідком розвитку інформаційних технологій. Саме інформаційні системи, як основне завдання інформаційних технологій, надають можливість накопичення даних протягом значного періоду часу. Вміючи аналізувати ці дані (OLAP-технології), обробляти великі обсяги даних (великі дані), добувати нові знання (штучний інтелект, Data Mining), людство отримує інтелектуальні системи обробки даних, на основі яких управління будь-чим буде більш ефективним і прибутковим. Це певний виклик для вищої школи, яка має реагувати на нього підготовкою фахівців з науки про дані.

### Література

1. Вікіпедія «Информационные технологии» [Електронний ресурс]. Режим доступу. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Информационные\\_технологии](https://ru.wikipedia.org/wiki/Информационные_технологии).
2. Вікіпедія «Наука о данных» [Електронний ресурс]. Режим доступу. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Наука\\_о\\_данных](https://ru.wikipedia.org/wiki/Наука_о_данных).
3. Data Science Central [Електронний ресурс]. Режим доступу. <http://www.datasciencecentral.com/page/contact-us>.

Дубовой В. М., доктор технічних наук, професор,  
Вінницький національний технічний університет  
Жученко А. І., доктор технічних наук, професор,  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

## ОСОБЛИВОСТІ ПІДГОТОВКИ ДОКТОРІВ ФІЛОСОФІЇ ЗА СПЕЦІАЛЬНІСТЮ «АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ»

**Анотація.** Розглянуто особливості підготовки докторів філософії за спеціальністю 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології в умовах переходу до нової номенклатури спеціальностей та з урахуванням керівних документів Кабінету Міністрів України. Охарактеризовано стан підготовки освітнього стандарту докторів філософії спеціальності 151 та відзначено основні проблемні питання.

**Ключові слова:** доктор філософії, спеціальність, автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології, освітній стандарт.

Проблема підвищення рівня підготовки докторів філософії стає все актуальнішою в зв'язку із прискоренням науково-технічного прогресу. Особливо це стосується фахівців за спеціальністю 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології (АКІТ), оскільки у цій царині прогрес є дуже швидким. Тому постає завдання покращення наукового, методичного та організаційного забезпечення підготовки докторів філософії за цією спеціальністю.

Розв'язання цих задач регулюється керівними документами [1, 2]. Ведеться активна робота над відповідними стандартами.

Метою роботи є аналіз задач щодо підвищення рівня підготовки докторів філософії за спеціальністю АКІТ та процесу стандартизації відповідних освітніх програм.

Важливою складовою процесу покращення підготовки докторів філософії є узгодження стандартів освітньої та наукової складових підготовки. Необхідність узгодження освітніх складових зумовлена тим, що у дипломі докторів філософії планується зазначати кваліфікацію відповідно до галузі знань. Зокрема, для АКІТ – це «Автоматизація та приладобудування», тобто кваліфікація «Доктор філософії з автоматизації та приладобудування». Проте за переліком освітніх спеціальностей до цієї галузі знань належать також 152 – Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка та 153 – Мікро- та наносистемна техніка, для яких розробляються окремі стандарти освіти. Необхідність узгодження наукових складових зумовлена тим, що до спеціальності 151 – АКІТ увійшли декілька спеціальностей за попереднім переліком: 05.13.03 – Системи та процеси керування; 05.13.05 – Комп'ютерні системи та компоненти; 05.13.07 – Автоматизація процесів керування; 05.13.12 – Системи автоматизації проектувальних робіт. Кожна з цих спеціальностей мала власний Паспорт спеціальності. Отже існує питання формулювання спільних «Об'єктів вивчення та/або діяльності» трьох освітніх і чотирьох наукових спеціальностей. Додатково слід зазначити, що це формулювання повинно корелювати із відповідними формулюваннями магістерських стандартів.

**Висновки.** Необхідна термінова і наполеглива робота щодо узгодження стандартів підготовки докторів філософії.

### Література

1. Про затвердження Порядку підготовки здобувачів вищої світи ступеня доктора філософії та доктора наук у вищих навчальних закладах (наукових установах). Постанова Кабінету міністрів України від 23 березня 2016 року. № 261.

2. Про затвердження Національної рамки кваліфікацій. Постанова Кабінету міністрів України від 23 листопада 2011 року. № 1341.

## СУЧАСНІ СТАНДАРТИ ВИЩОЇ ОСВІТИ ЗІ СПЕЦІАЛЬНОСТІ 151 «АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ»

**Анотація.** Показані основні принципи, покладені в основу розробки стандартів вищої освіти для освітніх рівнів підготовки бакалаврів, магістрів і докторів філософії з спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології».

**Ключові слова:** стандарт вищої освіти, рівень вищої освіти, галузь знань, спеціальність, компетентність, результати навчання.

Стандарт вищої освіти – це сукупність вимог до змісту та результатів освітньої діяльності вищих навчальних закладів і наукових установ за кожним рівнем вищої освіти в межах кожної спеціальності.

Стандарти вищої освіти використовуються для визначення та оцінювання якості змісту та результатів освітньої діяльності вищих навчальних закладів (наукових установ) і розробляються для кожного рівня вищої освіти в межах кожної спеціальності, відповідно до Національної рамки кваліфікацій (НРК).

Стандарт вищої освіти визначає такі вимоги до освітньої програми:

- 1) обсяг кредитів ЄКТС, необхідний для здобуття відповідного ступеня вищої освіти;
- 2) перелік компетентностей випускника;
- 3) нормативний зміст підготовки здобувачів вищої освіти, сформульований у термінах результатів навчання;
- 4) форми атестації здобувачів вищої освіти;
- 5) вимоги до наявності системи внутрішнього забезпечення якості вищої освіти;
- 6) вимоги до професійних стандартів (у разі їх наявності).

Нові стандарти вищої освіти є наступним поколінням стандартів і замінюють собою Галузеві стандарти вищої освіти (ГСВО), які розроблялись у 2002 – 2014 роках відповідно до законодавства. Стандарти базуються на компетентісному підході і поділяють філософію визначення вимог до фахівця, закладену в основу Болонського процесу та в міжнародному Проекті Європейської Комісії «Гармонізація освітніх структур в Європі» (Tuning Educational Structures in Europe, TUNING).

Компетентність – динамічна комбінація знань, вмінь і практичних навичок, способів мислення, професійних, світоглядних і громадянських якостей, морально-етичних цінностей, яка визначає здатність особи успішно здійснювати професійну та подальшу навчальну діяльність і є результатом навчання на певному рівні вищої освіти.

Компетентність можна розглядати як формування вимог майбутніх роботодавців до знань і умінь, якими повинен володіти майбутній фахівець. Розрізняють інтегральну, загальні і спеціальні (фахові, предметні) компетентності.

Інтегральна компетентність – узагальнений опис кваліфікаційного рівня, який виражає основні компетентнісні характеристики рівня щодо навчання та/або професійної діяльності.

Загальні компетентності – універсальні компетентності, що не залежать від предметної області, але важливі для успішної подальшої професійної та соціальної діяльності здобувача в різних галузях та для його особистісного розвитку.

Спеціальні (фахові, предметні) компетентності – компетентності, що залежать від предметної області, та є важливими для успішної професійної діяльності за певною спеціальністю.

Стандартом вищої освіти визначаються результати навчання, якими повинен володіти випускних освітнього рівня і які саме визначають нормативний зміст підготовки здобувачів вищої освіти і враховуються при проведенні процедур ліцензування і акредитації.

Запропоновані у стандарті спеціальні компетентності і відповідні результати навчання вимагають від здобувача вищої освіти зі спеціальності 151 знань і умінь проводити аналіз об'єктів автоматизації, використовувати методи теорії автоматичного керування, моделювання, ідентифікації, числових методів, і системного аналізу. вміти обґрунтовувати вибір технічних засобів автоматизації, використовувати комп'ютерні технології і спеціалізоване програмне забезпечення, вміти виконувати роботи з проектування систем автоматизації.

Проектом стандарту бакалавра зі спеціальності 151 передбачений обсяг освітньої програми у 240 кредитів на базі загальної середньої освіти. Для здобуття ступеня бакалавра на основі ступеня молодшого бакалавра ВНЗ може скорочувати обсяг освітньої програми, але тільки за рахунок визнання та перезарахування кредитів ЄКТС отриманих за попередньою освітньою програмою підготовки молодшого бакалавра. При цьому програма повинна забезпечувати набуття визначеним цим стандартом результатів навчання, а її загальний обсяг не повинен бути меншим 120 кредитів. Стандартом також передбачена виробнича практика яка має складати не менше 4 кредитів ЄКТС.

При розробці вищим навчальним закладом власної освітньої програми підготовки бакалаврів зі спеціальності 151, мінімум 50% обсягу освітньої програми має бути спрямовано на забезпечення загальних та спеціальних (фахових) компетентностей за спеціальністю, визначених стандартом вищої освіти., а інші компетентності і результати навчання ВУЗ вибирає на власний розсуд.

Атестація здобувачів вищої освіти зі спеціальності «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» повинна здійснюватися у формі публічного захисту кваліфікаційної роботи, у процесі підготовки і захисту якої випускник повинен продемонструвати знання і вміння проводити аналіз властивостей об'єкта автоматизації, обґрунтовувати вибір технічного і програмного забезпечення, виконувати проектні роботи, розробляти прикладне програмне забезпечення, широко використовуючи сучасні комп'ютерні технології на всіх стадіях розробки.

Кваліфікаційна робота бакалавра підлягає обов'язковій перевірці на академічний плагіат. Кваліфікаційна робота повинна бути розміщеною на сайті вищого навчального закладу або його структурного підрозділу. Після закінчення навчання за освітнім рівнем бакалавр, присвоюється кваліфікація «бакалавр з автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій».

Особливістю проекту стандарту для освітнього рівня магістр зі спеціальності «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» є те що пропонується дві освітні програми для магістрів: освітньо-професійна і освітньо-наукова. У зв'язку з чим передбачені декілька розділів спеціальних (фахових) компетентностей і відповідних результатів навчання:

- загальних спеціальних компетентностей (для обох освітньо-професійних програм підготовки);
- додаткових спеціальних компетентностей для освітньо-професійної освітньої програми;
- додаткових спеціальних (фахових) компетентностей для освітньо-наукової освітньої програми.

Обсяг освітньої програми магістра на базі першого (бакалаврського) рівня вищої освіти становить 90 та 120 кредитів ЄКТС для освітньо-професійної та освітньо-наукової програм відповідно.

При розробці вищим навчальним закладом власної освітньої програми підготовки магістрів зі спеціальності 151, мінімум 35% обсягу освітньої програми має бути спрямовано на забезпечення загальних та спеціальних (фахових) компетентностей за спеціальністю, визначених стандартом вищої освіти., а інші компетентності і результати навчання ВУЗ вибирає на власний розсуд.

Атестація здобувачів вищої освіти освітнього рівня магістр здійснюється у формі публічного захисту випускної кваліфікаційної роботи, яка має продемонструвати здатність випускника розв'язувати складні завдання і проблеми в галузі автоматизації на основі досліджень та/або здійснення інновацій за наявності невизначених умов і вимог. Кваліфікаційна робота здобувача підлягає обов'язковій перевірці на академічний плагіат та повинна бути розміщена на сайті вищого навчального закладу.

Після закінчення навчання за освітнім рівнем магістр, присвоюється кваліфікація «магістр з автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій».

Остаточних методичних рекомендацій щодо розроблення стандарту доктора філософії поки нема, тому наступну інформацію можна розглядати як інформацію для обговорення.

Пропонується визначити термін навчання на освітньому рівні доктора філософії – 4 роки. При цьому передбачається освітня і наукова складові програми підготовки докторів філософії. Обсяг освітньо-наукової програми може складати від 30 до 60 кредитів. Наукова складова освітньо-наукової програми передбачає проведення власного наукового дослідження та оформлення його результатів у вигляді дисертації і не регулюється цим стандартом.

Спеціальні компетентності цього стандарту мають бути достатніми для продукування нових ідей і розв'язання комплексних проблем у галузі професійної та/або дослідницько-інноваційної діяльності, а також для оволодіння методологією педагогічної та наукової діяльності за фахом

Формою атестації є публічний захист наукових досліджень у формі дисертації. Дисертація на здобуття ступеня доктора філософії є самостійним розгорнутим дослідженням, що пропонує розв'язання актуального наукового завдання в певній галузі знань або на межі кількох галузей, результати якого становлять оригінальний внесок у суму знань відповідної галузі (галузей) та оприлюднені у відповідних публікаціях. Вимоги до оформлення дисертацій встановлює МОН.

## ОРГАНІЗАЦІЯ ВІРТУАЛЬНОЇ ЛАБОРАТОРІЇ ДЛЯ НАВЧАННЯ РОБОТИ З БАЗАМИ ДАНИХ

**Анотація.** Розглянуто підходи до організації віртуальної лабораторії з вивчення проектування та адміністрування баз даних. Показано спосіб інтеграції віртуальної лабораторії з електронним навчальним курсом створеним в середовищі Moodle.

**Ключові слова:** дистанційне навчання, віртуальна лабораторія, бази даних, єдина авторизація.

**Постановка задачі.** За останні десятиліття все більше з'являється передумов для реального поступового перенесення навчання зі звичних лабораторій до навчання за комп'ютерами в класах або дистанційно. Для цього студентам створюються спеціальні умови та програмні продукти. Віртуальні лабораторії дають змогу моделювати, вивчати та досліджувати різноманітні процеси та явища без використання дорогого обладнання.

Особливо це актуальним є для вивчення серверного програмного забезпечення. Оскільки, мова хоча і йде про програмне забезпечення, але це можуть бути доволі вартісні рішення, які часто не можливо встановити на персональних комп'ютерах в навчальних класах, або надати для встановлення на персональних пристроях студентів.

Однією з нормативних дисциплін при підготовці кадрів з інформаційних технологій є "Технологія проектування та адміністрування баз даних". Метою розробки віртуальної лабораторії з цієї дисципліни є створення навчального середовища, в якому б студенти могли в реальному часі вивчати процеси серверів реляційних баз даних. Така віртуальна лабораторія не повинна бути відірваною від наявного у ВНЗ середовища електронного навчання, а бути з ним доволі глибоко інтегрованою.

Питання створення лабораторного практикуму в електронному навчанні вивчається і знаходить відображення в науково-методичних працях. В літературі поняття віртуальної лабораторії визначається по-різному. В найпростішому випадку це може бути локальний комп'ютер, на якому встановлена програма моделювання експерименту або віртуального симулятора [1]. Більш точно визначення можна знайти в [2], де термін віртуальна лабораторія включає також інформаційні технології для створення інтерактивного віртуального середовища з врахуванням потреб студентів і викладачів.

**Завданнями** дослідження є розробка методичних підходів до створення якісної віртуальної лабораторії з розробки баз даних; визначення її обов'язкових складових; інтеграція віртуальної лабораторії до електронного навчального курсу.

**Суть роботи.** Структура віртуальної лабораторії повинна містити технічні, педагогічні і академічні ресурси. До технічних ресурсів відносять: засоби віртуальної комунікації, дистанційно виконувані лабораторні роботи, віртуальні симулятори, система автоматичного оцінювання, віртуальні обчислювальні машини, підтримка програмного забезпечення. До педагогічних ресурсів засобів належить методичне забезпечення, а академічних студенти і викладачі.

Лабораторний практикум для проектування баз даних вимагає створення спеціальної лабораторії, де акумулюються розроблені лабораторні роботи й розміщується методична база. На практиці це може бути два окремих програмних ресурси: один - електронне середовище навчання з підготовленим електронним навчальним курсом з дисципліни (таким в НУБіП України є навчально-інформаційний портал побудований на платформі Moodle), а другий – серверна реляційна СУБД (у випадку дослідження використано відкриту СУБД MySQL 6 на операційній системі Linux).

З електронного навчального курсу забезпечується доступ до сервера віртуальної лабораторії, а також організується розклад проведення досліджень студентами, проведення

консультацій, тестів самоперевірки та виконання контрольних робіт. Таким чином, вивчення теретичної частини дисципліни повністю забезпечується цим ресурсом.

Власне віртуальна лабораторія встановлюється на окремому сервері. Виділення віртуальної лабораторії на окремий апаратний ресурс дозволяє не перевантажувати основний сервер баз даних, який обслуговує електронні навчальні курси, бути завжди доступним студентам для лабораторних робіт та експериментувати з навчальною базою без пошкодження реальних даних.

Доступ до віртуальної лабораторії студенти отримують так само як і до навчально-інформаційного порталу – через сервер автентифікації з єдиної бази користувачів. Така база в НУБіП України функціонує на LDAP. Тож студентам не потрібно окремо проходити реєстрацію та мати інший логін та пароль. Вони користуються тими ж даними для входу, що й на електронний курс. Перехід з електронного курсу до віртуальної лабораторії відбувається з передачею даних про вхід користувача. Таким чином, студент відразу потрапляє до власного середовища віртуальної лабораторії.

На сервері віртуальної лабораторії середовище налаштовується таким чином, щоб не потрібно було реєструвати кожного студента. При вході до лабораторії для студента автоматично створюється його навчально-проектна база даних та надається доступ до тренувальної навчальної бази. Тренувальна навчальна база доступна всім студентам для тренувань з маніпуляції даними. При цьому, студенти можуть не лише відбирати дані, але і оновлювати та вилучати їх. Раз на день відпрацьована тренувальна база очищається та відновлюється в стандартному навчальному об'ємі.

Окрім власне бази даних, студенти отримують особисте веб-середовище для програмування інтерфейсної частини свого проекту бази даних. Якщо студент бажає програмувати інтерфейс з використанням інших ресурсів, для нього залишаються відкритими порти доступу до СУБД через JDBC та ODBC.

Кожен студент у віртуальній лабораторії має доступ лише до власної роботи та до тренувальної бази даних. Натомість, викладач бачить всі роботи своїх студентів. Оцінювання ж робіт відбувається у відповідному ресурсі на електронному курсі.

**Висновки.** Викладені підходи дозволяють створити віртуальну лабораторію для вивчення теорії та практики проектування та адміністрації баз даних. Для ефективного функціонування обов'язкова наявність автоматичного створення та підтримки навчальних баз студентів та тренувальної бази з великим масивом інформації. Також для повноцінного розуміння студентами роботи баз даних необхідно дозволити доступ до сервісу з різних клієнтських програм. Інтеграція з системою електронного навчання Moodle дозволяє полегшити роботу як студентам так і викладачам, знімаючи потребу повторної реєстрації у середовищі віртуальної лабораторії.

### Література

1. European Conference on Physics Teaching in Engineering Education, Budapest, Jun. 2000.
2. Leitner L. J., Cane J. W. A virtual laboratory environment for online it education, in SIGITE '05: Proceedings of 6th conference on Information technology education. New York. USA. ACM Press. 2005. 283-289.
3. Жарких Ю. С., Лисоченко С. В., Третяк О. В., Шкавро А. Г. Лабораторні роботи в дистанційному навчанні. Новий колегіум. 2008. No 5. С. 45—53.



**Подустов М. А.**, доктор технических наук, профессор,  
Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»  
**Бабиченко А. К.**, кандидат технических наук, профессор,  
Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»

## **ОСОБЕННОСТИ ПОДГОТОВКИ БАКАЛАВРОВ И МАГИСТРОВ ПО СПЕЦИАЛЬНОСТИ «АВТОМАТИЗАЦИЯ И КОМПЬЮТЕРНО- ИНТЕГРИРОВАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ» В НАЦИОНАЛЬНОМ ТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ «ХАРЬКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ»**

**Аннотация.** Проведен анализ подготовки специалистов по специальности «Автоматизация и компьютерно-интегрированные технологии» в НТУ «Харьковский политехнический институт»; сформулированы проблемы, которые имеют место при трудоустройстве студентов; показаны основные направления научной работы кафедры и участие в этих проектах студентов.

**Ключевые слова:** кафедра автоматизации технологических систем и экологического мониторинга, студенты, автоматизированное управление технологическими процессами, учебная деятельность, научная деятельность.

Кафедра автоматизации технологических систем и экологического мониторинга (кафедра) была образована в 1964 для подготовки специалистов по автоматизации производства. В настоящее время имеет высокий научно-педагогический потенциал 2 доктора технических наук, 5 профессоров, 6 доцентов.

Выпускающими специальностями и специализациями являются следующие:

- специальность 151 «Автоматизация и компьютерно-интегрированные технологии»;
- специализация 151.01 «Автоматизированное управление технологическими процессами»;
- специализация 151.02 «Компьютерно-интегрированные производства и прикладное программирование».

Кафедра обеспечивает подготовку студентов пяти факультетов по специальным дисциплинам. Для этого используются 5 специализированных лабораторий: компьютерно-интегрированных технологий, компьютерного моделирования, технических средств автоматизации, технологических измерений, экологического мониторинга. Лекции проводятся в специализированной аудитории с мультимедийным оборудованием.

В процессе обучения предоставляется возможность получения второго высшего образования в области экономики, менеджмента и права. Студенты IV и V курсов с глубоким знанием английского, французского или немецкого языков имеют возможность пройти стажировку за рубежом.

Студенты получают высокую подготовку по прикладным направлениям: программирование современными языками, программирования промышленных контроллеров, проектирование и эксплуатация систем автоматизированного управления, компьютерное моделирование, базы данных.

Одновременно с учебной деятельностью, наша кафедра занимается научной работой и принимает участие в государственных исследовательских программах. Среди основных направлений преобладают темы, связанные с разработкой автоматизированных, экологически ориентированных энерготехнологических систем для нефтегазодобывающей, нефтегазотранспортной, нефтегазоперерабатывающей промышленности, предприятий пищевой и химической отрасли.

Без сомнения, получение места работы является наиболее сложным для выпускников ВУЗов. Многие организации используют студентов и молодых специалистов для работы в Call-центрах и на должности младших менеджеров, что по сути является временной, бесперспективной, низкооплачиваемой работой. В то же время рекрутинговые компании проводят поиск молодых людей с высоким уровнем подготовки в ИТ технологиях.

Благодаря полученным фундаментальным теоретическим знаниям и высокому уровню практической подготовки, а также, широкой сферы использования данной специальности, наши выпускники имеют постоянную востребованность и широкие возможности в трудоустройстве. Они могут работать в научно-производственных учреждениях, связанных с разработкой систем управления и их программным обеспечением; на химико-технологических, нефте-, газодобывающих и перерабатывающих предприятиях; предприятиях металлургической, фармацевтической, пищевой промышленности.

Кафедра является базой подготовки кадров для компании ОВЕН, которая занимается разработкой систем управления, промышленных контроллеров и программного обеспечения. Кафедрой создана техническая лаборатория на базе микропроцессорной техники ОВЕН, где проходят обучение, как наши студенты, так и сотрудники отделов КИП и АСУТП предприятий Украины.

Выпускники нашей кафедры работают: программистами; веб-мейкерами; Q-тестерами; проектировщиками систем автоматизации; менеджерами производственных отделов; администраторами; проектировщиками баз данных и др.

Приоритетным направлением деятельности кафедры является разработка автоматизированных энергосберегающих экологически ориентированных систем для разных отраслей промышленности. Работы выполняются на высоком профессиональном уровне, что обеспечивает высокую эффективность внедряемых систем. Среди них:

1. Разработка автоматизированных, экологически ориентированных и ресурсосберегающих технологических компонентов, и производств.

2. Разработка автоматизированных систем каталитической очистки газовых выбросов и автоматизированных электрохимических установок очистки жидких промышленных стоков.

3. Разработка распределенных микропроцессорных систем управления процессами получения связанного азота, соды, азотной и серной кислоты, поверхностно-активных веществ, синтетических моющих средств.

4. Разработка локальных систем экологического мониторинга промышленных предприятий.

5. Разработка новых средств автоматического контроля концентрации компонентов в жидких средах.

Научные исследования выполняются в рамках программ Государственного комитета по науке и технологиям АН Украины, МОН Украины и других отраслевых министерств:

- проект «Создание научно-обоснованных моделей физико-химических процессов в перспективных технологиях с энергосбережением». Разработка моделей проводилась за тремя направлениями: каталитические и абсорбционные процессы в энергосберегающей технологии поверхностно активных веществ; процессы дистилляции в технологии утилизации цинка из отходов металлургической промышленности; процессы конденсации в технологии синтетического аммиака.

- проект «Способы повышения питательной ценности минеральных удобрений» выполнялся для МИИНДИП (г. Сумы). По результатам законченной работы теоретически и практически обоснованно энергосберегающую технологию органо-минеральных удобрений с использованием осадка стоковых от и обедненных украинских фосфоритов.

- проект «Разработать рабочую документацию программного обеспечения АСКТП отделения химической очистки воды, которая реконструируется». Работа выполнялась для Крымского содового завода, а ее результаты работы позволили усовершенствовать систему управления за счет использования современных многофункциональных микроконтроллеров, что обеспечило создание адаптированных к условиям технологических процессов алгоритмов функционирования АСУТП в целом.

- проект «Разработка физико-химических основ гетерогенных процессов в энергосберегающих системах». Работа проводилась по трем направлениям: создание математической модели для процесса протекания жидкости на поверхности гофрированной насадки в присутствии газового противотока в процессах абсорбции десорбции; усовершенствование технологического оформления блока вторичной конденсации агрегатов синтеза аммиака; разработка математической модели закладки шламов содового производства в подземные полости.

В результате выполнения научных работ публикуются статьи, тезисы докладов и получены патенты, соавторами которых являются студенты, участвующие в этих работах.

**Чернишенко Є. В.**, президент Асоціації «Теплиці України»  
**Andrzej Chochowski**, prof. dr hab. inż.,  
Warsaw University of Life Sciences – SGGW  
**Лисенко В. П.**, доктор технічних наук, професор,  
Національний університет біоресурсів і природокористування України  
**Решетюк В. М.**, кандидат технічних наук, доцент,  
Національний університет біоресурсів і природокористування України  
**Куляк Б. В.**, аспірант,  
Національний університет біоресурсів і природокористування України

## **ІНТЕГРАЦІЙНИЙ СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ДО ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ З АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА КОМП'ЮТЕРНО - ІНТЕГРОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ: НА ПРИКЛАДІ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОГО ЦЕНТРУ ТЕПЛИЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

**Анотація.** Сформульовані особливості інтеграційного системного підходу; на прикладі науково-практичного центру тепличних технологій показано шляхи підвищення підготовки фахівців з автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій.

**Ключові слова:** інтеграційний системний підхід, підготовка фахівців, науково-практичний центр, тепличні технології.

На сучасному етапі розвитку науки системний підхід переживає нову стадію розвитку – інтеграційну. Викликом сучасності є необхідність виробки нової стратегії і визначення на її основі головних напрямів діяльності з урахуванням вимог суспільства.

Особливостями інтегративності системного підходу в підготовці фахівців є [1]:

- реалізація в освітніх ситуаціях метапредметності відкритого, вільного простору креативних дій тих, хто навчається;
- зв'язаність окремих частин і функцій системи в ціле, як процес зближення і зв'язку різних технологій, дозволяє встановити «ціннісні містки» взаємозв'язку і взаємин;
- необхідності проектування системного підходу сучасного освітнього процесу як інтеграційної технології.

Отже інтеграційний системний підхід можемо представити, як єдність і взаємозв'язок систем, де в центрі уваги знаходиться освітня ситуація і її технологічні рішення в побудові «живого» знання. Реалізація такої задачі можлива за умови створення «майданчика сучасних технологій», де поєднуються освіта, наука і виробництво.

Проблеми сучасності тепличної галузі в Україні засвідчені учасниками різноманітних форумів, головними серед них є:

- відсутність містка між наукою і виробництвом, із-за низької освітньої і наукової конкурентоспроможності університетів;
- відсутність центру інновацій і навчання гравців тепличного бізнесу.

Європейські країни вирішили проблему оновлення знань для виробництва через проектування, будівництво і активну експлуатацію науково-практичних центрів, які об'єднують у різних спрямуваннях інтереси виробництва і науки. В європейському середовищі подібні проекти реалізовані за кошти грантів ЄС (вартістю 10–12 млн. євро) і успішно функціонують. Серед них: GreenQ (Голландія), Варшавський університет наук про життя (SGGW), Інститут біофізики і біохімії Польської академії наук, Познанський природничий університет ім. Міцкевича. В Україні ця проблема вирішується шляхом відрядження окремих представників виробництва в європейські науково-практичні центри і знайомство із новинками технологій за дуже високу плату.

Одним із ключових елементів забезпечення вирішення цього завдання є створення науково-практичного центру, як відкритого інноваційного простору (рис. 1), де зосереджуються такі основні види діяльності: навчання, практичні заняття, наукові дослідження. В ньому

забезпечується безпосередній контакт із розробниками, підприємцями, вченими і фахівцями тепличної галузі. Додатковою вартістю такого простору буде отримання базових знань про сучасний стан і тенденції розвитку тепличного господарства, забезпечення додаткової теоретичної і практичної підготовки в сфері організації і управління проектами тепличного господарства.



Рисунок 1 – Науково-практичний центр тепличних технологій, як відкритий інноваційний простір

Основними завданнями Науково-практичного центру є:

- оволодіння студентами науковими методами пізнання;
- поглиблене і творче засвоєння навчального матеріалу;
- оволодіння методикою самостійної постановки і вирішення наукових та технічних задач;
- виховання навичок роботи у науковому колективі;
- сприяння науково-технічному прогресу шляхом участі у розробці актуальних наукових і технічних завдань галузі.

НУБіП України, спільно із Асоціацією «Теплиці України» впродовж останніх років провели певні роботи в цьому напрямку, результатом яких стала Дорожня карта проекту – симбіоз проблем і шляхів їх вирішення з реалізацією окремих її положень. Вона виглядає як трирівнева ієрархічна структура:

**рівень 0** – передбачав детальне ознайомлення із вищезазначеними європейськими проектами, їх аналіз. Фіналом роботи стало виготовлення проекту центру спільно із компанією GreenDor (Польща), автором кращих центрів у Польщі.

**рівень 1** – створення центру - об'єднання зусиль роботодавців, університетів і міжнародних структур: Асоціація «Теплиці України», НУБіП України, Варшавський університет наук про життя (SGGW), Національний університет харчових технологій, PomruCiepłaPodhaleSp. zo.o.; з метою участі у міжнародних проектах, залучення вітчизняних і зарубіжних бізнес-партнерів.

**рівень 2** – забезпечення функціонування науково-практичного центру (Асоціація «Теплиці України», НУБіП України і університети-партнери, компанії-орендарі, академічні інститути).

Об'єкт створює необхідні умови для проведення досліджень та розробок в галузі тепличних технологій, нових технологій обробки та селекції рослин в рамках більш широкого університетського співробітництва, в тому числі і співпраця з провідними виробниками плодоовочевої продукції, застосування нових рішень для тепличного будівництва (у тому числі пасивних об'єктів), широкого спектру використання альтернативних і поновлюваних джерел енергії, систем і садового обладнання. Враховуючи характер експлуатації об'єкту - практично-експериментальний, використовується першокласна техніка і обладнання для технологічно-експериментальних виробництв (живильники добрив, клімат-комп'ютери, стерилізатори, підготовки і обробки води, енергетичне обладнання, ґрунтообробні системи, тощо). Для використовуваного обладнання враховується можливість його розширення і подальшої модернізації щодо функцій або області застосування. Такий його вибір дозволить в умовах реалізації науково-дослідних програм, максимально наблизитись до сучасних виробництв і ознайомлювати виробничників (стажистів, студентів) з експлуатацією та безпосереднім обслуговуванням обладнання.

## Література

1. Шабанова Ю. О. Системний підхід у вищій школі. Дніпропетровськ. НГУ. 2014. 120 с.

**Nard Elsman**, General Director Elsman Group BV  
**Чернишенко С. В.**, президент Асоціації «Теплиці України»

**Andrzej Chochowski**, prof. dr hab. inż.,  
Warsaw University of Life Sciences – SGGW

**Ружина А. О.**, офіційний представник DiamondFMS в Україні

**Решетюк В. М.**, кандидат технічних наук, доцент,  
Національний університет біоресурсів і природокористування України

**Куляк Б. В.**, аспірант,  
Національний університет біоресурсів і природокористування України

## **МІСЦЕ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ DIAMONDFMS У ПРАКТИЧНІЙ ПІДГОТОВЦІ ФАХІВЦІВ ЗІ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ «АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ» ТА «КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ»**

**Анотація.** Наведено результати використання програмного забезпечення DiamondFMS у практичній підготовці фахівців зі спеціальностей «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» та «Комп'ютерні науки», приведені функції веб-засобу онлайн реєстрації RubyReport, який створений на основі технології «клієнт-сервер» (на прикладі ПрАТ «Комбінат «Тепличний»).

**Ключові слова:** інформаційні технології, програмне забезпечення, моніторинг, реєстрація, управління даними, автоматизація процесів реєстрації, моніторингу процесів.

Сьогоднішньому етапу розвитку суспільства характерне широке застосування інформаційних технологій, яким в свою чергу властива стрімкість, швидка зміна концептуальних уявлень, технічних засобів, методів і сфер застосування. Висококваліфікований фахівець повинен володіти високим рівнем знань в сфері інформаційних технологій і вільно адаптуватися до постійно змінних технічних і програмних засобів. З іншої сторони, інформатизація процесів підготовки фахівців з розробки програмного забезпечення є запорукою не тільки ефективності, але і якості професійної підготовки, оскільки середовища майбутньої діяльності фахівців є інформатизованими. До таких належать, птахофабрики, тепличні комбінати, комплекси із первинної переробки зерна, молочно-товарні ферми та інші.

Але в самих різноманітних областях практики – організація виробництва і постачання, експлуатація транспорту, підбір кадрів, управління технологічними процесами об'єднуються під загальною назвою «задачі дослідження операцій» [1]. Об'єктом дослідження в нашому проекті стали біотехнологічні, інженерні і управлінські операції ПрАТ «Комбінат «Тепличний». Цілями проекту були:

- автоматизація процесів реєстрації, моніторингу процесів розподілу та виконання завдань працівниками/відділами на підприємстві та контроль за їх виконанням та витраченим на виконання завдань часу (годин);
- реєстрація та своєчасне інформування відповідальних осіб щодо виникнення ушкоджень або захворювань на виробництві;
- створення графіку регулярних задач, формування бази даних для подальшого аналізу та прийняття управлінських рішень;
- групування та інтелектуальний аналіз даних на будь-якому рівні, встановлення взаємозв'язків між даними різного походження із будь-яких існуючих програмних забезпечень;
- представлення даних через інформаційно-інтерактивні панелі “Dashboards” у вигляді інтерактивних графіків і таблиць, різних шкал, показників, індикаторів, тощо.

Для реалізації поставлених завдань були використані програмні засоби DiamondFMS–RubyReport [2]. Це веб-засіб онлайн реєстрації, створений на основі технології «клієнт-сервер» для виконання наступних функцій:

- облік та звітування робочого часу;
- створення завдань/призначення виконавців та контроль права кожного працівника звітуватися за їх виконання;

- створення звіту про ушкодження, захворювання/інфекції;
- перегляд даних і блокування можливості вносити в них зміни;
- створення плану виконання завдань і включення завдань в звіти про ушкодження, захворювання/інфекції;
- опис функціоналу RubyReport;
- створення звіту про використання робочого часу;
- затвердження звіту про використання робочого часу і блокування можливості внесення нового змін;
- експорт звітних даних;
- створення звіту про ушкодження, захворювання/інфекції і представлення цього звіту керівництву;
- створення завдань і призначення виконавців;
- управління даними і правами доступу працівників;
- механізм управління структурними елементами.

RubyReport підтримує наступні веб-браузери на Вашому пристрої: Google Chrome і т.і. А також доступний у двох версіях: мобільній і ПК. Опис функціоналу версії для ПК наступний:

- створення звітів/ додавання даних про години/ завдання/ ушкодження, захворювання/інфекції;
- додавання, перегляд, редагування і видалення інформації про працівника і робочу групу;
- експорт даних в Excel або CSV;
- друк даних;
- редагування заголовків наступних рівнів: «Години», «Обслуговування», «Інші завдання», «Ушкодження» і «Захворювання/інфекції»;
- управління структурою: додавання, перегляд, редагування і видалення наступних рівнів: «Години», «Обслуговування», «Інші завдання», «Пошкодження» і «Захворювання/інфекції»;

- додавання фотографій і карт до звітів про ушкодження і захворювання;

- додавання фотографій до завдань.

Опис функціоналу мобільної версії виглядає наступним чином:

- створення звітів/ додавання даних про години, завдання, ушкодження, захворювання/інфекції;
- додавання, перегляд, редагування і видалення інформації про працівників і робочі групи;
- додавання фотографій і карт до звітів про ушкодження і захворювання;
- додавання фотографій до завдань;
- робота в автономному режимі (офлайн).

Наступними кроками у застосуванні програмного забезпечення DiamondFMS буде вирішення наступних задач:

- задачі та моделі оптимального розподілу ресурсів (забезпечення плану перевезень методом найменшої вартості);
- оптимізаційні задачі управління запасами (управління запасами – передбачається, що попит, організаційні витрати, витрати на зберігання запасу можуть змінюватись; рівень запасу контролюється періодично на початку етапу; дефіцит в цій моделі не допускається; витрати на виробництво (або придбання) продукції і витрати на зберігання одиниці продукції являються постійними або спадаючими функціями величин);
  - задача масового обслуговування;
  - задачі впорядкування і координації, мережне планування (складання параметрів сіткового графіка та його оптимізація за вартістю);
  - задачі та моделі заміни (практичне рішення задачі про заміну устаткування);
  - теорія гри (платіжна матриця, нижня і верхня ціна гри);
  - багатокритеріальні задачі в менеджменті (завдання вибору постачальника, ухвалення рішення про продовження договору з постачальником: використовуючи критерії оцінки та результати контролю).

## Література

1. Вентцель Е. С. Исследование операций: задачи, принципы, методология: учебное пособие. Москва. КНОРУС. 2013. 192 с.
2. [https://drive.google.com/drive/folders/0B22qi3\\_9cC2rVmpFSTN3MGxhV0U?usp=sharing](https://drive.google.com/drive/folders/0B22qi3_9cC2rVmpFSTN3MGxhV0U?usp=sharing).

### Секція 3 «Керування технічними, технологічними, біотехнічними об'єктами»

(включені під час проведення конференції)

УДК 631.3.075:633:535.241.46

Лисенко В. П., доктор технічних наук, професор,  
Національний університет біоресурсів і природокористування України  
Комарчук Д. С., кандидат технічних наук  
Національний університет біоресурсів і природокористування України  
Марцифей А. І., аспірант,  
Національний університет біоресурсів і природокористування України

## СТАН СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ НАСАДЖЕНЬ З ВИКОРИСТАННЯМ БПЛА В УМОВАХ ЗМІННОГО ОСВІТЛЕННЯ (СТАН ПИТАННЯ)

**Анотація.** Впровадження інтенсивних технологій вирощування сільськогосподарських культур, є одержання програмованих врожаїв що призводять до необхідності впровадження автоматизованих систем керування процесом вирощування. Їх основою задачею має стати безперервний моніторинг стану рослинних насаджень, який включає отримання інформації про якість проходження всіх вегетаційних етапів розвитку рослин. Така можливість дасть вчасно корегувати умови росту рослин шляхом визначення кількості внесення мінеральних добрив.

**Ключові слова:** БПЛА, спектр, мінеральні добрива, спектр, експонетр.

Метою є визначення методів дистанційного отримання інформації про сільськогосподарські угіддя заснованих на вивченні параметрів електромагнітного випромінювання, що виникають при його взаємодії з об'єктом вимірювань на різних етапах розвитку рослин та порівняння результатів з еталомом. Такі методи поділяються на пасивне і активне зондування [1]. Пасивне зондування пов'язане з вимірюваннями параметрів відбитого від наземних об'єктів сонячного випромінювання в різних частотних діапазонах, причому найбільш поширені на сьогодні вимірювання в видимому та інфрачервоному спектрах. При активному зондуванні вивчаються параметри відбитого випромінювання, яке випромінюється з літальних чи наземних апаратів. Найбільш розвиненими є методи пасивного зондування. Достовірність інформації, що отримується при такому типі, залежить від методу отримання зображення (космічний або повітряний), та характеристиками приладів, які використовуються. Одним з варіантів космічного моніторингу є фотозйомка, котра дає уявлення про розподіл яскравості відбитого світла в межах ділянки. Тобто двовимірний розподіл амплітудної характеристики оптичного сигналу. Дані про частотні параметри отримують з допомогою багатоканальних спектрометрів, які реєструють інтенсивність відбитого спектру в різних діапазонах довжин хвиль.

Поява останнім часом бортових спектрометрів з високою роздільною здатністю дозволяє отримати більш точні відомості про частотно-амплітудні характеристиках відбитого світла, що розширює інформаційний потік.

Ще одним джерелом отримання інформації про стану забезпеченості рослин мінеральними добривами в польових умовах є значення інтенсивності складових кольору окремої ділянки, які також залежать від рівня освітленості [2]. При незначній відстані між фото-сенсором та дослідним зразком інтенсивність сонячного відбиття можна вимірювати з допомогою люксметра, проте для БПЛА це не завжди можливо. Оскільки на дистанціях в кілька сотень метрів можлива ситуація, коли БПЛА та ділянки, що досліджуються, мають різне освітлення через хмарність. Компенсувати таку різницю освітленості можливо використовуючи калібрувальні залежності, або за допомогою зміни параметрів налаштування камери при отриманні зображення.

На сьогодні, для калібрування освітлення, застосовують такі заходи: як використання додаткового сенсора у верхній частині БПЛА (зенітна камера) для спостереження за небом; недоліком такого способу є складність у визначенні відповідності хмар на небі, які фіксуються зенітною камерою, та тіні від хмар на землі, які фіксуються камерою для моніторингу насаджень; таке рішення доцільно використовувати лише при рівномірній хмарності. Також використання спеціальних оптичних шаблонів; шаблони із штучним забарвленням, котре підбирають під конкретну марку сенсору, розміщують на полі і, виходячи із значень інтенсивності складових кольору, що належать саме шаблону, коригують результати моніторингу насаджень; габарити шаблонів визначаються розподільчою здатністю камер БПЛА і, зазвичай, мають розміри біля метра для їх транспортування на легковому автомобілі; недоліком такого рішення є організаційні та фінансові труднощі щодо масового використання шаблонів завдяки великим габаритам полів; із цієї ж причини шаблони використовують також при рівномірній хмарності.

Надзвичайно перспективним методом оцінки освітленості є метод корекції параметрів зйомки, який дає можливість отримання зображення із змінним значенням корекції експозиції. Методика заснована на використанні службових даних про параметри налагодження фотоапарату для корекції освітлення [3]. При зйомці на основі результатів виміру освітлення штатним експонетром фотокамери відбувається вибір таких параметрів як тривалість експозиції (Exposure Time), значення діафрагми (Aperture Value), світлочутливість ISO. Усі ці параметри враховуються при обчисленні величини Light Value(LV). Дані Light Value(LV) дають змогу отримати залежність інтенсивності червоної складової кольору в отриманих зображеннях. У разі використання штатного експонетру для калібрування щодо освітленості бажано використовувати сенсорне обладнання із лінійним характером залежності (за рахунок простих алгоритмів перерахунку).

### Література

1. Лисенко В. П., Опришко О. О., Комарчук Д. С. Методологічні підходи щодо радіочастотної корекції результатів дистанційного зондування посівів, отриманих за допомогою БПЛА. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. 2017. Вип. 261. С. 69—78.
2. Лисенко В. П., Опришко О. О., Комарчук Д. С., Пасічник Н. А. Використання БПЛА для дистанційного зондування посівів під час програмування врожаю. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. 2017. Вип. 256. С. 69—78.
3. Лисенко В. П., Опришко О. О., Комарчук Д. С., Пасічник Н. А., Лендел Т. І. До питання застосування дистанційного моніторингу промислових рослинних насаджень. Індуктивне моделювання складних систем. 2016. Вип. 8. С. 127—132.



**Шворов С. А.**, доктор технічних наук, професор,  
Національний університет біоресурсів і природокористування України  
**Лукін В. Є.**, кандидат педагогічних наук  
Національний університет біоресурсів і природокористування України  
**Комарчук Д. С.**, кандидат технічних наук  
Національний університет біоресурсів і природокористування України  
**Чирченко Д. В.**  
Національний університет біоресурсів і природокористування України

## **ТЕХНОЛОГІЯ ЗБИРАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР ЗА ДАНИМИ ВІД БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ**

**Анотація.** В умовах впровадження безпілотної збиральної техніки (БЗТ) в систему точного землеробства на перший план виходять питання отримання оперативної інформації про обсяги врожаю та оперативного планування збиральної техніки на основі застосування даних від безпілотної літальної апаратури (БПЛА).

**Ключові слова:** БПЛА, RGB, врожай, маршрут.

Це важливе питання потребує вирішення цілої низки завдань, серед яких важливе місце займають питання визначення врожайності та побудови моделей застосування безпілотної збиральної техніки на основі точної інформації про обсяги врожаю, місцезнаходження БЗТ та перешкод на шляху руху збиральної техніки. Найбільш перспективним для планування та керування рухом безпілотної збиральної техніки в залежності від наявності врожаю, стаціонарних та рухомих перешкод на кожній ділянці поля є використання безпілотної літальної апаратури. Однак, у зв'язку з великими обсягами початкових даних і відсутністю ефективних технологій вирішення даної задачі, виникає необхідність у проведенні цілеспрямованих досліджень у цьому напрямку.

Метою досліджень є розробка технології планування маршрутів та керування рухом безпілотної збиральної техніки в залежності від наявності врожаю та перешкод на ділянках поля, визначених за допомогою БПЛА.

Результати проведених експериментальних досліджень показують, що звичайні цифрові фотокамери БПЛА можна ефективно використовувати при прогнозуванні врожаю та визначенні різних перешкод на шляху руху БЗТ на кожній ділянці поля. Після проведення фотозйомки на електронній карті поля на основі статистичної обробки RGB-сигналів визначається декілька контрастних за оптичними характеристиками зон (ділянок). Для кожної з цих зон експериментально розраховуються контрольні обсяги врожаю, а відповідні RGB-сигнали використовуються для навчання нейронної мережі. За допомогою спеціального програмного забезпечення обробки спектральних характеристик цифрових знімків кожної ділянки місцевості з використанням апарату нейронних мереж визначаються обсяги врожаю на шляху руху безпілотної комбайнів, що забезпечує оперативне прийняття рішень для розподілу, планування маршрутів та керування рухом БЗТ. Задача синтезу оптимальних траєкторій руху в заданих умовах розв'язується методом динамічного програмування з узагальненим критерієм оптимальності по нелінійній схемі компромісів. Застосування запропонованої технології передбачає зменшення вартісних витрат на збиральну кампанію.

**Шворов С. А.**, доктор технічних наук, професор,  
Національний університет біоресурсів і природокористування України  
**Комарчук Д. С.**, кандидат технічних наук  
Національний університет біоресурсів і природокористування України  
**Лукін В. Є.**, кандидат педагогічних наук  
Національний університет біоресурсів і природокористування України  
**Устимчук В. В.**  
Національний університет біоресурсів і природокористування України

## ТЕХНОЛОГІЯ ОТРИМАННЯ БІОГАЗУ З ЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР

**Анотація.** Розробка інноваційної біогазової технології щодо підготовки вхідних субстратів та оптимального дозування спеціальних домішок для отримання максимальних об'ємів біогазу з енергетичних культур.

**Ключові слова:** біогаз, біомаса, бродіння, енергетичні культури (ЕК).

Перспективним напрямом розвитку біогазових технологій є отримання біогазу з різних видів енергетичних культур (ЕК). Однак, неоптимальне керування процесом завантаження різних видів ЕК та субстратів може призвести до значного зменшення виходу біогазу. Крім того, у біогазових установках (БГУ) не передбачається застосування різних видів сезонної біомаси. Усунення зазначених недоліків є розробка новітніх біогазових технологій, за допомогою яких забезпечується завантаження БГУ різними видами ЕК, субстратів і спеціальних домішок та створення необхідних умов для отримання максимально можливого об'єму біогазу.

Метою досліджень є розробка інноваційної біогазової технології щодо підготовки вхідних субстратів та оптимального дозування спеціальних домішок для отримання максимальних об'ємів біогазу.

Одним із напрямків інтенсифікації процесів зброджування є деструкційна (кавітаційна) обробка вхідної сировини, оптимальне дозування, завантаження та перемішування різних видів ЕК, субстратів та спеціальних домішок, що забезпечує ефективне використання всього об'єму резервуара БГУ, виключає утворення «мертвих» зон, розшарування осаду, відкладання мінералізованого осаду та утворення кірки, а також сприяє вирівнюванню температурного поля та покращенню газоутворення.

Інтенсифікація зброджування здійснюється за рахунок того, що потік різних видів сировини завантажується у роторно-пульсаційний апарат БГУ, де подрібнюється до необхідного мікроскопічного рівня та гомогенізується. У процесі обробки рвуться зв'язки довгих волокон (лігнін, целюлоза). Дисперсність субстратів та ЕК збільшується так, що різним штамам бактерій, які беруть участь в процесах утворення біогазу, легше розкласти біогенні матеріали. У результаті цього вміст метану в біогазі збільшується до 70–75%.

На основі спеціального імунного біосенсора визначається кількість та інтенсивність росту мікробної популяції у зброджуваній біомасі, що необхідно для оптимального дозування різних видів спеціальних домішок, які дозволяють значно збільшити вихід біогазу.

Таким чином, застосування розробленої інноваційної біогазової технології передбачає попередню деструкційну підготовку вхідних ЕК і субстратів та оптимального дозування спеціальних домішок для отримання максимальних об'ємів біогазу.

**Секція 7 «Інформаційні технології в автоматизації»**  
(включені під час проведення конференції)

УДК 631.1.004

**Калініченко Д. Ю.**, аспірант,  
Національний університет біоресурсів і природокористування України  
**Роговський І. Л.**, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,  
Національний університет біоресурсів і природокористування України

## СИСТЕМИ ІНФОРМАЦІЙНОГО УПРАВЛІННЯ ПАРАМЕТРАМИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ

**Анотація.** Для вироблення загального методологічного підходу до вирішення питань вдосконалення інформаційного управління параметрами технічного стану зернозбиральних комбайнів був застосований системний підхід. З точки зору системного підходу зернозбиральний комбайн, як складова виробничого процесу вирощування сільськогосподарської продукції, розглядається як відносно відокремлена структура, що складається з різних елементів, взаємодіючих між собою і з зовнішнім середовищем [1].

**Ключові слова:** автоматизація, комбайн, моніторинг, параметр, оператор.

Розроблена автоматизована система контролю (далі – АСК), яка призначалася для збору та обробки інформації з робочих постів про вимірювання контрольованих параметрів технічного стану деталі, вузла чи агрегату зернозбиральних комбайнів. Блок-схема робочого поста наведена на рис. 1.

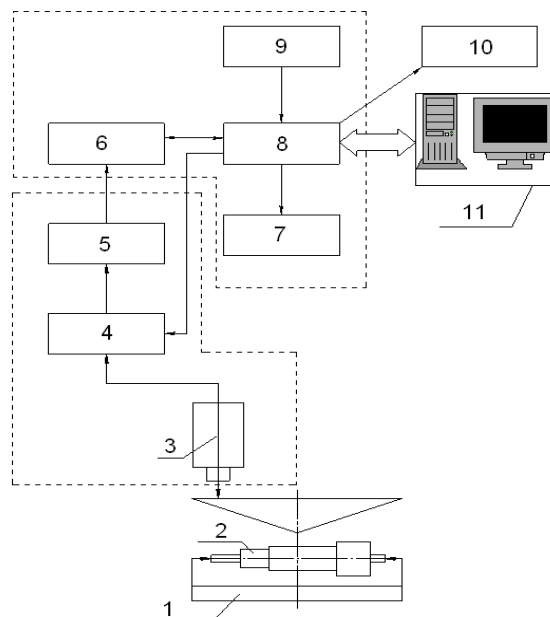


Рисунок 1 – Блок-схема робочого поста: 1 – пристосування для закріплення деталі; 2 – контрольована деталь; 3 – первинні перетворювачі; 4 – мультиплексор; 5 – підсилювач-перетворювач; 6 – аналого-цифровий перетворювач; 7 – блок індикації; 8 – мікропроцесор; 9 – блок управління; 10 – друкуючий пристрій; 11 – комп'ютер.

До одного комп'ютера можна було підключити до 8 робочих постів. Кожен робочий пост дозволяв вимірювати до 129 контрольованих параметрів, що задовольняло вимогам збору і обробки інформації. Використання АСК було особливо ефективно при комплектуванні деталей і призначення маршрутів для відновлення зношених деталей, і прийняття рішення про технічний стан деталі, вузла чи агрегату здійснювалося комп'ютером, що дозволяло зменшити

вплив суб'єктивного фактора при розподілі фонду запасних частин за маршрутами. Функціонал більшості комп'ютеризованих систем управління техсервісу на агропідприємствах був розширений за рахунок додавання можливості управління складськими запасами і техсервісним персоналом. Але системи ЕАМ–системи (від англ. Enterprise Asset Management), які в основному застосовувалися для підтримки технологічного обладнання та машин в технічно справному стані. Дані системи дозволяють злагоджено керувати такими процесами: технічне обслуговування і ремонт; управління складськими запасами; матеріально-технічне постачання; управління фінансами, якістю та трудовими ресурсами в рамках єдиної стратегії. При впровадженні даних систем на підприємстві орієнтуються на скорочення витрат на ТО і ремонт техніки без зниження рівня надійності, або на підвищення певних виробничих параметрів без збільшення витрат. З ЕАМ-систем для аграрної сфери з'явилися системи комплексного управління ТО і ремонтами – МRO-системи (від англ. Maintenance, Repair and Overhaul), основне призначення яких – це автоматизація планування діяльності персоналу, що займаються виконанням ТО і ремонту зернозбиральних комбайнів і забезпечення їх необхідними ресурсами. Крім того, дані системи мають на увазі функціонал для інформаційного забезпечення та вирішення ряду завдань: управління термінами служби та списання комбайнів; оптимізація структури і чисельності комбайнів; зберігання інформації по кожному комбайну, відмови в процесі експлуатації, а також виконаних ТО і ремонтах; підтримка територіальних підрозділів підприємства, що займаються ТО і ремонтом, в рамках єдиної стратегії. Система інформаційної підтримки життєвого циклу комбайну. В основі якої лежить стандартизоване уявлення даних про комбайн і передбачається фірмове сервісне гарантійне і післягарантійне обслуговування. Подібні технології, як правило, включають у себе систему управління надійністю: здійснюється збір відомостей про відмови, планових і аварійних ремонтів, а також за допомогою спеціальних контрольно-діагностичних засобів встановлюють технічний стан.

В даний час в теорії управління процесами техсервісу зернозбиральних комбайнів застосовуються методики обслуговування, орієнтованої на надійність роботи машин – відома у світі як RCM (Reliability Centered Maintenance). Згідно з цією методикою, підтримка всіх одиниць машин і устаткування в безвідмовному стані не є самоціллю, головне – це працездатність виробничої системи в цілому, а не працездатність кожної одиниці. Мета RCM – забезпечення надійності роботи особливо важливих комбайнів (відповідно до їх граничного стану), відмова яких потягне за собою значні наслідки. При оцінці наслідків враховуються різні ризики – зрив виробничих планів, недотримання норм якості продукції, екологічні катастрофи тощо. Основні етапи RCM аналізу: А – визначення меж системи та/або підсистеми; В – визначення всіх функцій системи та/або підсистеми; С – виявлення функціонально значимих елементів (FSI); D – визначення причин відмов функціональних елементів, прогнозування відмов і ймовірностей їх виникнення; Е – застосування дерева вирішення проблем для класифікації результатів відмов функціонально значущих елементів; F – вибір операцій для початкової програми ТО або ремонту; G – у разі, якщо якісь операції при ТО і Р не можуть бути встановлені, то набір операцій переглядається; Н – створення динамічної програми ТО і Р в результаті планового і систематичного оновлення шляхом моніторингу (систематичного контролю), збору та аналізу оперативних даних.

Першим кроком при використанні методики RCM є визначення меж обмежень або підсистеми. Це означає, що систему поділяють на підсистеми більш простого рівня складності.

Другим кроком є визначення функціонально значущих елементів. На наступному кроці відбувається виявлення причин відмов функціонально значущих елементів та прогнозування ймовірності їх появи. Якісні методи (засновані на колективному професійному думці і практичному застосуванні) та кількісні методи (наприклад, метод аналізу характеру та наслідків відмов (FMEA–Failure Mode and Effect Analysis) або метод аналізу ризиків), можуть використовуватися для виявлення причин і результатів відмови елементів зернозбиральних комбайнів. Середнє напрацювання на відмову ґрунтується на компетентному аналізі за схемою «причина-відмова-наслідок».

## Література

1. Калініченко Д. Ю., Роговський І. Л. Аналітичні положення визначення коефіцієнта динамічності параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки, технологій для сільського господарства України. Дослідницьке. 2017. Вип. 21 (35). С. 55—61.

Никольский В. В., доктор технических наук, профессор, НУ «ОМА»

Бережной К. Ю., аспирант, НУ «ОМА»

Никольский М. В., кандидат технических наук, НУ «ОМА»

## ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ РЕОМЕТР

**Аннотация.** Судовые технические жидкости топливо и масло, находясь в зазорах ЦПГ ДВС, ведут себя как тиксотропные. Для исследования их свойств используют три метода определения динамической вязкости, из которых метод соосных цилиндров менее распространен, т.к. необходим линейный привод. Появление доступных пьезоэлектрических линейных двигателей позволило создать компьютерную систему определения реологических характеристик тиксотропных жидкостей.

**Ключевые слова:** тиксотропные жидкости, реометр, линейный пьезоэлектрический двигатель.

Тяжелое топливо и смазочное масло, используемое в судовых дизелях, относятся к тиксотропным жидкостям [1]. Из существующих методов измерения вязкости (падающего шарика, соосных цилиндров, соосных дисков, вибрационный, по перепаду давления в капилляре, ультразвуковые и ротационные) в судовых системах распространение нашли методы по перепаду давления, соосных цилиндров, ультразвуковой. Отличительной особенностью всех вискозиметров является работа с постоянной скоростью или фиксированным набором скоростей, привод измерительного зонда – электромагнитный или электромеханический. Однако топливо и масло, используемые при работе главного двигателя, работают в широком диапазоне скоростей, и их динамическая вязкость для разных скоростей и градиента сдвиговых деформаций отличаются (носит ярко выраженный S - характер).

Использование реометров на соосных цилиндрах ограничено, т.к. не было возможности обеспечения линейных перемещений во всем диапазоне скоростей синхронно с работой ДВС. Поэтому и измерение вязкости осуществлялось, как правило, по одному значению скорости или, вообще, температуры. Это объясняется тем, что работа главного двигателя осуществляется на номинальном режиме и под этот режим подстраивается работа вискозиметра/реометра. А маневренный режим составляет крайне незначительное значение по времени в сравнении с номинальным, что не менее ответственно, так как используется в основном при заходах в порт, узкостях, каналах. И во время этого режима осуществляется максимальный выброс вредных веществ в окружающую среду, что и привело к ограничительным нормам по использованию тяжелых сортов топлива в Европе. Основная проблема перехода на использование реометров заключается в синхронизации его работы с работой главного двигателя. До последнего времени не было таких инструментов для синхронизации. С появлением промышленных контроллеров, которые работают в режиме реального времени, появилась возможность использования и реометров. Но тогда и к существующим реометрам должно предъявляться основное требование помимо адекватности процессов в измерительном зонде – это обеспечение диапазона угловых и линейных скоростей. В [1] был предложен роторный пьезоэлектрический двигатель в качестве привода измерительного зонда, который к тому моменту уже имел совершенную конструкцию.

Нами создана компьютерная система определения реологических характеристик судовых технических жидкостей [2] на основе оборудования компании Phoenix Contact, линейного пьезоэлектрического двигателя [3], приводящего в движение соосные цилиндры, и которая синхронизирована с работой судового главного двигателя, использующего тяжелое моторное топливо.

### Литература

1. Никольский В. В. Оценка реологических свойств тиксотропных жидкостей реометрами с пьезоприводом. Автоматизация судовых технических средств. Одесса. ОНМА. 2005. Вып. 10. С. 61—64.
2. Никольский М. В., Бережной К. Ю. Пьезоэлектрический Вискозиметр. Наукові праці ЧДУ імені Петра Могили. Серія: комп'ютерні технології. Миколаїв. 2016. Вип. 275. Т. 287. С. 60—63.
3. Лавриненко В. В., Коваль В. С., Петренко С. Ф., Лукін В. В., Франченко Р. В. Патент на винахід 76759 України. МПК (2006) H02 N2/00. Пьезоэлектричний двигун. № 20040110441. Заявл. 18.12.2003. Опубл. 15.09.2006. Бюл. № 9.

## ЗМІСТ

Міжнародний програмний комітет	3
Організаційний комітет конференції	3
Пленарне засідання	4
Горбань І. І. Физико-математическая теория гиперслучайных явлений	4
Губарев В. Ф. Редукция порядка модели системы большой размерности	6
Кунцевич В. М. Оценки влияния ограниченных возмущений на нелинейные дискретные системы	8
Ладанюк А. П. Ефективність комплексування механізмів керування в системах автоматизації технологічних комплексів	10
Секція 1 «Математичні проблеми управління, оптимізації і теорії ігор»	12
Боровская Т. Н., Северилов В. А., Северилов П. В. Оптимальная система управления производством с нелинейным наблюдателем состояния и параметров	12
Боровская Т. Н., Северилов В. А., Вернигора И. В. Управление производством с учётом изменений цен ресурсов и продуктов на базе методологии оптимального агрегирования	14
Кифоренко Б. Н., Кифоренко С. И. Инвариантные соотношения в теории избыточно управляемых динамических систем	16
Кузьменко Б. В., Лисенко В. П. Хаос та чутливість до початкових умов в питаннях моделювання в енергетичній галузі і автоматизації виробничих процесів	18
Мазко А. Г. Стабилизация по выходу и взвешенное подавление возмущений в дискретных системах управления	20
Павлов О. А., Місюра О. Б., Мельников О. В. Сумарне зважене запізнювання на одному приладі: евристичний алгоритм на основі ПДС-алгоритму	22

Куценко А. С., ТОВАЖНЯНСКИЙ В. И. Инвертирование линейных динамических систем в условиях полиномиальных воздействий	24
Панкратова Н. Д., Панкратов В. А., Системный подход к решению задач развития социально-экономических систем	26
Пряшникова П. Ф. Численное решение игровой задачи рынка с экспоненциальной функцией цены	28
Степахно И. В., Гнучий Ю. Б., Дюженкова О. Ю., Овчар Р. Ф. Использование статистического анализа для идентификации математической модели решения прикладных задач с целью оптимизации затрат	30
Секція 2 «Управління та ідентифікація в умовах невизначеності»	32
Дмитришин Д. В., Скринник І. М., Франжева Е. Д. Методи геометричного комплексного аналізу в проблемі періодичних точок	32
Головата Ю. Б. Інформаційне забезпечення автоматизації процесу буріння та прогнозування передаварійних ситуацій	34
Іващук В. В. Ідентифікація багатомірного об'єкта у задачах асортиментного виробництва	36
Кропивницька В. Б. Аналіз динамічних режимів процесу поглиблення свердловин як об'єкта керування на засадах синергетичної теорії інформації	38
Лисенко В. П., Мірошник В. О., Лендел Т. І. Алгоритм функціонування системи керування електротехнічним комплексом теплиці	40
Луцька Н. М. Проблема ідентифікації математичних моделей для синтезу робастно-оптимальних систем керування технологічними об'єктами	42
Піднебесна Г. А., Степашко В. С. Про застосування онтологічного підходу для розробки засобів індуктивного моделювання	43
Поварчук Д. Д. Комплексний розрахунок параметрів математичної моделі роботи трифазного сепаратора як автоматизованої групової замірної установки в умовах лувинського нафтогазового родовища	45

Степашко В. С. Проблема побудови інтелектуальних технологій ідентифікації об'єктів управління	47
Чекурін В. Ф., Химко О. М. Математичні моделі, методи та алгоритми виявлення та ідентифікації витоків у магістральних газопроводах	49
Городецкий В. Г., Осадчук Н. П. Реконструкция и оптимизация модели активности нейрона	51
Дорофеев Ю. И., Любчик Л. М., Никольченко А. А. Оптимальное гарантирующее управление запасами в цепях поставок с неопределенными временными задержками	52
Романенко В. Д., Милявский Ю. Л. Робастное управление импульсными процессами в когнитивных картах сложных систем при неполных измерениях координат вершин	54
Сальников Н. Н. Применение метода эллипсоидов в задачах одновременного оценивания параметров и состояний динамических систем	56
Секція 3 «Керування технічними, технологічними, біотехнічними об'єктами»	58
Василенков В. Є. Дослідження динаміки стану повітря, яке знаходиться в водонапірній башті при її заповненні	58
Беглов Я. И., Беглов К. В. Применение нечеткого регулятора для регулирования концентрации жидкого поглотителя в первом контуре АЭС	59
Вишневский Д. Л., Щур Н. А. Оптимизация количества разрядов дискретного регулятора напряжения асинхронного генератора	61
Гладкий А. М. Дослідження спотворень синусоїдальної напруги вищими гармоніками	63
Горобець В. Г., Антипов Є. О. Застосування комп'ютерних систем кінцево-елементного аналізу для чисельного дослідження процесів теплопереносу в акумуляторах теплоти фазового переходу	64
Грищенко В. О. Автоматизація керування енергоощадними режимами охолодження зернових і соковитих продуктів	66



Жученко О. А., Коротинський А. П. Задачі керування процесом випалювання	68
Заєць Н. А. Інтелектуальна система визначення ефективних стратегій управління технологічними комплексами в умовах невизначеності	70
Кіркопуло К. Г. Розробка автоматизованої системи керування установкою для плазмового нанесення покриттів	72
Козирський В. В., Момотюк В. В. Концепція використання електротехнологічної системи управління з метою підвищення енергоефективності випікання хлібобулочних продуктів	73
Котов Б. І., Грищенко В. О., Калініченко Р. А. Керування процесом сушіння зерна в установках періодичної дії	75
Кузнецов Б. И., Никитина Т. Б., Коломиец В. В., Волошко А. В., Кобылянский Б. Б. Синтез систем активного экранирования магнитного поля линий электропередачи в условиях неопределенности	77
Лисенко В. П. Особливості систем автоматизації біотехнічних об'єктів аграрного спрямування	79
Лисенко В. П., Чернова І. С. Нечітка когнітивна карта для контролю якості ентомологічної продукції	81
Лукинова Д. А., Северин В. П., Никулина Е. Н. Оптимизация показателей качества систем автоматического управления ядерным реактором ВВЭР-1000	84
Луцька Н. М., Заєць Н. А. Робастно-адаптивні системи керування технологічними об'єктами	86
Лысюк А. В. Усовершенствование АСУ барабанного котла для сжигания горючих искусственных газов	88
Лысюк А. В., Беглов К. В. Оптимизация работы группы котельных агрегатов при сжигании несертифицированного топлива	90
Мироненко В. Г. Модель досягнення оптимального стану об'єкту, що обробляється в рослинництві	91

Наку С. О. Досвід дозування сипучих компонентів в сучасному виробництві	93
Осадчий С. І., Зубенко В. О., Якорєва М. В. Синтез комбінованої системи керування процесом короткоциклової адсорбції	95
Полупан В. В., Сідлецький В. М. Автоматизована система управління станції дефекасурації з модулем координації	96
Притула М. Г., Пасічник О. А. Оптимальне керування рухом поїздів в системах формування графіків	98
Притула Н. М., Притула М. Г., Фролов В. А. Керування активними об'єктами в складних системах транспортування та зберігання газу	100
Прокопеня О. Н., Воробей І.С. Управление движением мобильного двухколесного робота	102
Рижков О. М., Кондратенко І. П., Толочко О. І., Стяжкін В.П. Шляхи побудови системи автоматичного керування краном-маніпулятором	104
Романюк О. В., Сідлецький В. М. Управління автоматизованими газорозподільчими станціями з використанням тензорних моделей	106
Северин В. П., Никулина Е. Н., Шевцов А. С. Моделирование паровых турбин АЭС как объектов управления в маневренных режимах эксплуатации	108
Сідлецький В. М., Ельперін І. В. Тензорні моделі технологічних апаратів та об'єктів в системах автоматизованого управління підприємством	110
Соловйова О. М., Dmytro Solovyyov Застосування автоматичного керування технологічним процесом з метою отримання надтонких багатосарових провідних структур	112
Сюмаченко Д. М., Смітюх Я. В. Інтелектуальне керування комплексом підготовки і використання технологічної пари	114
Тимофієва Н. К. Скінченні та нескінченні комбінаторні конфігурації як аргумент цільової функції в прикладних задачах різних класів	115

Ткачешак Н. В., Горбійчук М. І. Розробка математичної моделі нагнітача природного газу з використанням антипомпажного клапана	117
Топалов А. М., Козлов О. В., Кондратенко Ю. П. Математичне моделювання баластної системи плавучого доку для задач автоматичного керування	119
Ухина А. В., Ситников В. С. Управление перестройкой характеристик частотно-зависимого компонента для повышения эффективности специализированной компьютерной системы	121
Фешанич Л. І. Виявлення явища помпажу у відцентрових нагнітачах газоперекачувальних агрегатів	123
Хобин В. А. Системы гарантирующего управления: новые возможности повышения эффективности технологических процессов с ограничениями типа «аварийная ситуация»	125
Хобін В. А., Левінський М. В. Самоналагоджувальна система керування об'єктом технологічного типу	127
Штепа В. М., Кот Р. Є. Проблематика енергоефективного управління комбінованою електротехнологічною водоочисткою промислових стоків	129
Шуруб Ю. В., Дудник А. О. Оптимізація регуляторів асинхронних електроприводів при стохастичних навантаженнях у робочих та пускових режимах	131
Фурман І. А., Аллашев А. Ю. Нетрадиционный подход к программированию микроэлектронных средств логического управления промышленным оборудованием	133
Мазуренко Л. І., Джура О. В., Білик О. А., Шихненко М. О. Система керування вентильно-індукторним генератором	135
Меланченко А. Г., Ельникова Л. О., Синча А. А. Целевое управление системой мобильных автоматов в условиях ограниченной дальности связи	137
Литвин В. І., Шеліманова О. В. Розробка моделі споживання теплової енергії будівлями	139

Тарасенко С. Є. Фотоелектричні перетворювачі в системах енергозабезпечення споживачів	140
Швець В. В. Імітаційне моделювання процесів сушіння молока	141
Секція 4 «Управління аерокосмічними, морськими та іншими рухомими об'єктами»	142
Боряк Б. Р., Сільвестров А. М., Луцьо В. В. Прогнозування траєкторії літальних апаратів в умовах гетероскедастичних збурень	142
Волосов В. В., Шевченко В. Н. Синтез алгоритмів управління орієнтацією космічного апарата на основі обобщений прямого метода Ляпунова	144
Гриценко В. І., Тимченко А. А., Триус Ю. В. Комп'ютерні інформаційні технології як об'єкт створення і впровадження	145
Ефименко Н. В. Определение параметров углового движения космического аппарата по информации звездного датчика с использованием динамического уравнения в параметрах Родрига-Гамильтона	147
Лебедев Д. В. К задаче координатной привязки спутниковых снимков	148
Омельяненко О. В., Северин В. П. Управление потоками мощности электропоезда с накопителем энергии	150
Ткаченко Я. В. Оптимальні переходи між близькими еліптичними орбітами з врахуванням тіні	152
Секція 5 «Інтелектуальне керування та обробка інформації»	153
Древецький В. В., Муран Р. О. Комбінований гідродинамічно-оптичний метод вимірювання витрати	153
Копистинський Л. О. Управління процесом буріння з інтелектуальною підтримкою процесів прийняття рішень	155
Матус С. К., Стеценко А. М., Програмно-апаратне забезпечення автоматизованої системи керування вологозабезпеченістю сільськогосподарських культур	157

Чайковська Є. Є. Підтримка функціонування когенераційної системи на пелетному паливі	159
Мякухин Ю. В., Розоринов Г. Н., Толюпа С. В. Оценка живучести информационных систем и объектов критической инфраструктуры	161
Шевченко С. В., Годлевский М. Д. О согласовании задач оперативного управления в интеллектуальных энергосистемах	163
Мейтус В. Ю. Уровни интеллекта в интеллектуальных системах	165
Маковецька С. В., М'якшило О. М. Моделювання бізнес-процесів організації та управління поставки сировини на цукровий завод	167
Власенко Л. О. Варіанти оцінки станів об'єкта на основі застосування різних видів контрольних карт	169
Бородін В. І., Ярошук Л. Д. Керування температурним режимом колони синтезу аміаку на основі нечіткої логіки	170
Секція 6 «Мехатроніка та робототехніка»	172
Аврука І. С. Саморухомий пристрій для реверсивного переміщення в трубопроводах	172
Зозуля В. А., Осадчий С. І. Аналіз методів проектування систем управління механізмами паралельних структур	174
Лисенко В. П., Болбот І. М. Алгоритм керування інтелектуальним роботизованим електротехнічним комплексом в промисловій теплиці	176
Ромасевич Ю. О., Ловейкін В. С. Модифікація структури Пі-Регулятора	177
Секція 7 «Інформаційні технології в автоматизації»	179
Джуренко Т. С., М'якшило О. М., Романенко В. М. Розробка алгоритму пошуку релевантних веб-документів за запитом користувача	179

Воронков О. А., Роговський І. Л. Автоматизація роботи операторів з моніторингу транспортних засобів при перевезенні зернового збіжжя	181
Кравчишин В. С., Медиковський М. О. Штучні нейронні мережі в задачах прогнозування швидкості вітру	183
Лавров Е. А. Информационная технология для задач обеспечения эргономического качества автоматизированных систем	186
Литвин А. О., Струзік В. А., Грибков С. В. Дослідження методів і підходів проведення рефакторингу баз даних	188
Мельник В. П., Підгорний М. В., Тимченко А. А. Проектування систем моніторингу транспортування небезпечних вантажів	190
Олійник Г. В., Грибков С. В. Розробка web-орієнтованої системи підтримки прийняття рішень при плануванні виконання договорів	192
Роговський І. Л. АРМ в системі відновлення працездатності сільськогосподарських машин	194
Савченко Є. А., Степашко В. С., Токова О. В. Задача конструювання системи підтримки прийняття рішень у ливарному виробництві	196
Соколовська Н. І. Створення системи обліку енергоресурсів в аспекті енергетичної безпеки держави і регіонів. Деякі нормативно-правові аспекти	197
Тітова Л. Л., Роговський І. Л. АРМ і чинники продуктивності технічного сервісу машин для лісотехнічних робіт	199
Чорнобай К. Ю., Грибков С. В. Система біометричної ідентифікації з використанням нейронних мереж	201
Казьмірович О. Р., Казьмірович Р. В. Де-які шляхи підвищення ефективності виробничої інформаційної технології SIP4/JDF для виробництв книжкових видань	203
Литвин А. О., Струзік В. А., Грибков С. В. Дослідження методів і підходів проведення рефакторингу баз даних	205

Олійник Г. В., Грибков С. В. Розробка web-орієнтованої системи підтримки прийняття рішень при плануванні виконання договорів	207
Литовченко В. В., Крейда А. М., Підгорний М. В. Інформаційна модель керування транспортним засобом з безступеневою трансмісією	209
Сікора Л. С., Лиса Н. К., Марцишин Р. С., Міюшкович Ю. Г. Інформаційні можливості методу лазерного зондування вібрації агрегатів технологічних енергоактивних об'єктів	211
Бойко Р. О. Системна задача формування процедур інтелектуального управління технологічним комплексом	214
Горбійчук М. І., Пашковський Б. В. Невизначеність при керуванні роботою газоперекачувальних агрегатів	216
Крейда А. М., Литовченко В. В., Підгорний М. В. Дослідження особливостей виникнення похибок під час обробки деталей на верстатах з ЧПК	218
Медіна М. С., Ілючок О. М., Пісун О. М., Кожухов Д. М. Використання пристроїв синхронізації за протоколом RTP в комплексах управління антенними системами станцій прийому інформації дистанційного зондування Землі	220
Тимчук С. О., Шендрик С.О. Аналіз предметної області прийняття рішень при управлінні гібридними енергомережами	221
Никольский В. В., Лысенко В. Е., Никольский М. В. Пьезоэлектрический привод впускного клапана двухтопливного двигателя внутреннего сгорания	223
Нікольський В. В., Накул Ю. А., Стовманенко В. О. Система контролю завантаження контейнеровозів "Shipload"	224
Секція 8 «Підготовка кадрів в галузі автоматизації та інформаційних технологій»	225
Бобрівник К. Є., Чернобай К. Ю., Грибков С. В. Проектування модуля формування набору індивідуальних завдань для студентів при вивченні технічних дисциплін	225

Болбот І. М., Лисенко В. П., Решетюк В. М., Цицюрський Ю. Л. Формування фахових компетенцій майбутніх інженерів за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»	227
Булачок М. О., Лисенко В. П., Решетюк В. М. До питання про психологічну підготовку студентів інженерних факультетів (на прикладі анкетування студентів за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»)	229
Глазунова О. Г., Ковалюк Т. В. Підготовка ІТ-фахівців у вищому навчальному закладі аграрного спрямування: компетентнісний підхід	231
Голуб Б. Л. Магістерська програма «Наука про дані»	233
Дубовой В. М., Жученко А. І. Особливості підготовки докторів філософії за спеціальністю «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»	235
Ельперін І. В. Сучасні стандарти вищої освіти зі спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»	236
Мокрієв М. В. Організація віртуальної лабораторії для навчання роботи з базами даних	239
Подустов М. А., Бабиченко А. К. Особенности подготовки бакалавров и магистров по специальности «Автоматизация и компьютерно-интегрированные технологии» в Национальном техническом университете «Харьковский политехнический институт»	241
Чернишенко Є. В., Andrzej Chochowski, Лисенко В. П., Решетюк В. М., Куляк Б. В. Інтеграційний системний підхід до підготовки фахівців з автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій: на прикладі науково-практичного центру тепличних технологій	243
Nard Elsmann, Чернишенко Є. В., Andrzej Chochowski, Ружина А. О., Решетюк В. М., Куляк Б. В. Місце програмного забезпечення diamondfms у практичній підготовці фахівців зі спеціальностей «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» та «Комп'ютерні науки»	245



Секція 3 «Керування технічними, технологічними, біотехнічними об'єктами» (включені під час проведення конференції)	247
Лисенко В. П., Комарчук Д. С., Марцифей А. І. Стан сільськогосподарських насаджень з використанням бпла в умовах змінного освітлення (стан питання)	247
Шворов С. А., Лукін В. Є., Комарчук Д. С., Чирченко Д. В. Технологія збирання енергетичних культур за даними від безпілотних літальних апаратів	249
Шворов С. А., Комарчук Д. С., Лукін В. Є., Устимчук В. В. Технологія отримання біогазу з енергетичних культур	250
Секція 7 «Інформаційні технології в автоматизації» (включені під час проведення конференції)	251
Калініченко Д. Ю., Роговський І. Л. Системи інформаційного управління параметрами технічного стану зернозбиральних комбайнів	251
Никольский В. В., Бережной К. Ю., Никольский М. В. Пьезоэлектрический реометр	253

## ІСТОРИЯ КОНФЕРЕНЦІЇ

Автоматика	<b>1994</b>	<b>Київ:</b> Інститут кібернетики ім. В. М. Глушкова Академії наук України
Автоматика	<b>1995</b>	<b>Львів:</b> Державний університет «Львівська політехніка»
Автоматика	<b>1996</b>	<b>Севастополь:</b> Севастопольський державний технічний університет
Автоматика	<b>1997</b>	<b>Черкаси:</b> Черкаський інженерно-технологічний інститут
Автоматика	<b>1998</b>	<b>Київ:</b> Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»
Автоматика	<b>1999</b>	<b>Харків:</b> Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»
Автоматика	<b>2000</b>	<b>Львів:</b> Державний науково-дослідний інститут інформаційної інфраструктури
Автоматика	<b>2001</b>	<b>Одеса:</b> Одеський державний політехнічний університет
Автоматика	<b>2002</b>	<b>Донецьк:</b> Донецький національний технічний університет
Автоматика	<b>2003</b>	<b>Севастополь:</b> Севастопольський національний технічний університет
Автоматика	<b>2004</b>	<b>Київ:</b> Національний університет харчових технологій
Автоматика	<b>2005</b>	<b>Харків:</b> Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»
Автоматика	<b>2006</b>	<b>Вінниця:</b> Вінницький національний технічний університет
Автоматика	<b>2007</b>	<b>Севастополь:</b> Севастопольський національний університет ядерної енергії та промисловості
Автоматика	<b>2008</b>	<b>Одеса:</b> Одеська національна морська академія
Автоматика	<b>2009</b>	<b>Чернівці:</b> Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича
Автоматика	<b>2010</b>	<b>Харків:</b> Харківський національний університет радіоелектроніки
Автоматика	<b>2011</b>	<b>Львів:</b> Національний університет «Львівська політехніка»
Автоматика	<b>2012</b>	<b>Київ:</b> Національний університет харчових технологій
Автоматика	<b>2013</b>	<b>Миколаїв:</b> Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Автоматика	<b>2014</b>	<b>Київ:</b> Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»
Автоматика	<b>2015</b>	<b>Одеса:</b> Одеський національний політехнічний університет
Автоматика	<b>2016</b>	<b>Суми:</b> Сумський державний університет
Автоматика	<b>2017</b>	<b>Київ:</b> Національний університет біоресурсів і природокористування України

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

ЗБІРНИК  
ТЕЗ ДОПОВІДЕЙ  
XXIV МІЖНАРОДНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ  
З АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ

Автоматика – 2017  
(13–15 вересня 2017 року)

Відповідальний за випуск:  
І. Л. Роговський – секретар НТР НДІ техніки, енергетики  
та інформатизації АПК НУБіП України.

Редактор – І. Л. Роговський.

Дизайн – кафедра автоматики та робототехнічних систем імені  
акад. І. І. Мартиненка НУБіП України.

Верстка – НДІ техніки, енергетики та інформатизації АПК НУБіП України.

*Адреса НДІ техніки, енергетики та інформатизації АПК –  
03041, Україна, м. Київ, вул. Героїв Оборони, 12<sup>б</sup>, НУБіП України,  
навч. корп. 11, кімн. 346.*

*Видання даного збірника тез доповідей здійснено за фінансової підтримки  
Представництва Польської академії наук в Києві*

---

Підписано до друку 14.08.2017. Формат 60×84 1/16.  
Папір Maestro Print. Друк офсетний. Гарнітура Times New Roman та Arial.  
Друк. арк. 16,7. Ум.-друк. арк. 16,9. Наклад 150 прим.  
Зам. № 9633 від 07.08.2017.  
Відруковано ТОВ «Акварин Ексклюзив»  
03142, м. Київ, вул. Крижанівського, 3, корп. 20. т. 0445287155.

---

© НУБіП України, 2017.