

Кибернетика 4 (190)/2017 и вычислительная техника

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ ■ ОСНОВАН В 1965 г. ■ ВЫХОДИТ 4 РАЗА В ГОД ■ КИЕВ

СОДЕРЖАНИЕ

Информатика и информационные технологии

ГРИЦЕНКО В.И., ОНИЩЕНКО И.М. Определение информативности параметров модели прогнозирования вероятности выбора продукта в условиях «Big Data»	5
SYNYTSYA K.M. E-Learning Models Analysis for Lifelong Learning (СИНИЦА Е.М. Анализ моделей электронного обучения для непрерывного обучения)	19

Интеллектуальное управление и системы

MELNYCHUK S.V., GUBAREV V.F., SALNIKOV N.N. Using Information Features in Computer Vision for 3d Pose Estimation in Space (МЕЛЬНИЧУК С.В., ГУБАРЕВ В.Ф., САЛЬНИКОВ Н.Н. Использование информационных признаков в системе компьютерного зрения космического аппарата для оценивания положения и ориентации)	33
--	----

Медицинская и биологическая кибернетика

ANTONOMOV M.Yu., SHEVCHENKO A.A., KULAGIN A.A. Algorithms of Multifactorial Regression Modeling in Ecological and Hygienic Studies (АНТОМОНОВ М.Ю., ШЕВЧЕНКО А.А., КУЛАГИН А.А. Алгоритмы многофакторного регрессионного моделирования в эколого-гигиенических исследованиях)	56
КАЛЬНИШ В.В., СТАСИШИН Р.А., ОЛИСКЕВИЧ М.О. Модель оценки качества эмоциональной регуляции профессиональной деятельности работников при работе с повышенной опасностью	73

Информационные сообщения

ZHITECKII L.S. The 20 th IFAC World Congress (ЖИТЕЦКИЙ Л.С. 20-й Всемирный Конгресс ИФАК)	90
Системный указатель статей, опубликованных в 2017 году	95
Внимание авторов	97

Cybernetics and Computer Engineering

4 (190)/2017

SCIENTIFIC JOURNAL ▪ FOUNDED IN 1965 ▪ PUBLISHED 4 TIMES PER YEAR ▪ KYIV

CONTENTS

Informatics and Information Technologies

GRITSENKO V.I. ONYSHCHENKO I.M. Determining the Informativity of Parameters in a Prognostic Model for Evaluating the Probability of Product Selection in Case of Big Data	5
SYNYTSYA K.M. E-Learning Models Analysis for Lifelong Learning	19

Intelligent Control and Systems

MELNYCHUK S.V., GUBAREV V.F., SALNIKOV N.N. Using Information Features in Computer Vision for 3d Pose Estimation in Space	33
---	----

Medical and Biological Cybernetics

ANTONOMOV M.Yu., SHEVCHENKO A.A., KULAGIN A.A. Algorithms of Multifactorial Regression Modeling in Ecological and Hygienic Studies	56
KALNYSH V.V., STASYSHYN R.O., OLISKEVYCH M.O. Model of Estimating the Quality Characteristics for Emotional Regulation of Employees Professional Activity at Work with High Danger	73

Information messages

ZHITECKII L.S. The 20 th IFAC World Congress	90
---	----

System index of articles published in 2017	95
--	----

To Attention of Authors	97
-------------------------------	----

ЗМІСТ

Інформатика та інформаційні технології

ГРИЦЕНКО В.І., ОНИЩЕНКО І.М. Визначення інформативності параметрів моделі прогнозування ймовірності вибору продукту в умовах «Big Data»	5
СИНІЦА К.М. Аналіз моделей електронного навчання для неперервного навчання ...	19

Інтелектуальне керування та системи

МЕЛЬНИЧУК С.В., ГУБАРЕВ В.Ф., САЛЬНІКОВ М.М. Використання інформативних ознак у системі комп'ютерного зору космічного апарата для оцінювання положення та орієнтації	33
--	----

Медицина та біологічна кібернетика

АНТОМОНОВ М.Ю., ШЕВЧЕНКО О.А., КУЛАГІН О.О. Алгоритми багатофакторного регресійного моделювання в еколого-гігієнічних дослідженнях	56
КАЛЬНИШ В.В., СТАСИШИН Р.О., ОЛІСКЕВИЧ М.О. Модель оцінювання якості емоційної регуляції професійної діяльності працівників за умови роботи з підвищеною небезпекою	73

Інформаційне повідомлення

ЖИТЕЦЬКИЙ Л.С. 20-й Всесвітній конгрес ІФАК	90
---	----

Системний показник статей, опублікованих у 2017 році	95
--	----

До уваги авторів	97
------------------------	----

DOI: <https://doi.org/10.15407/kvt190.04.005>

УДК 330.4:004.22

В.І. ГРИЦЕНКО, член-кореспондент НАН України,
директор Міжнародного науково-навчального центру
інформаційних технологій та систем НАН України та МОН України
e-mail: vig@irtc.org.ua

І.М. ОНИЩЕНКО, канд. економ. наук,
старш. наук. співроб. відд. економіко-соціальних
систем та інформаційних технологій
e-mail: standardscoring@gmail.com
Міжнародний науково-навчальний центр
інформаційних технологій та систем НАН України та МОН Україн,
пр. Акад. Глушкова, 40, 03187, м. Київ, Україна

ВИЗНАЧЕННЯ ІНФОРМАТИВНОСТІ ПАРАМЕТРІВ МОДЕЛІ ПРОГНОЗУВАННЯ ЙМОВІРНОСТІ ВИБОРУ ПРОДУКТУ В УМОВАХ «BIG DATA»

Впровадження нових методів та підходів до оброблення даних, які отримали назву «Big Data», особливо актуально для систем з високою навантаженістю. В умовах швидкого потоку даних традиційні пакетні методи моделювання не завжди дають точні та стійкі результати, бракує ефективних методів відбору важливих параметрів. Розглянуто он-лайнний підхід до моделювання та прогнозування в умовах «Big Data» та методи оцінювання і відбору параметрів моделі прогнозування ймовірності вибору продукту за їх інформативною важливістю. Для визначення інформативності параметра розглянуто підхід до побудови моделі із використанням регуляризації L1 (LASSO), L2 (RIDGE) та модель Follow-The-Regularized-Leader. Теоретичні та математичні викладки супроводжуються програмною реалізацією методу мовою програмування Python.

Методи online-learning дозволяють отримати оцінки параметрів моделі у режимі реального часу, що дає змогу використовувати їх у високонавантажених системах оброблення даних, у прогнозуванні та прийнятті рішень.

Ключові слова: інформаційні технології в економіці, економіко-математичне моделювання, алгоритми онлайн навчання, регуляризація, Big Data.

ВСТУП

Сучасне суспільство переживає чергову хвилю інформаційних технологій, яка цього разу пов'язана зі швидким експоненціальним зростанням обсягів

інформації. При цьому частина структурованої інформації зростає не так стрімко. Основна частина приросту інформації — неструктуровані або слабоструктуровані дані. Класичні ж методи оброблення та зберігання даних не можуть впоратися з такими обсягами та швидкістю приросту даних.

Для розв'язання зазначених вище задач одночасно в кількох найбільших світових компаніях індустрії інформаційних технологій, таких як Google, Facebook та Amazon, почали розробляти абсолютно нові підходи до проблеми зберігання та оброблення інформації з метою отримання корисних знань. Пізніше зусилля окремих компаній було об'єднано у єдиний проект, в результаті якого було отримано систему нових інструментів, методів апаратного та програмного забезпечення для аналізу даних великих обсягів та поганої структурованості. Система таких методів та підходів отримала назву технологій «Big Data».

Термін «Big Data» був введений у 2008 році Кліффордом Лінчем [1], доктором з інформатики Університету Берклі. Також слід відзначити роботи В. Майєр-Шенбергера та К. Кук'єра [2], Ж.-П. Дейкса [3], які проводили фундаментальні дослідження у сфері великих даних.

Хоча сам термін було введено в академічному середовищі, широке застосування та значне поширення він отримав і у практичних дослідженнях в рамках технологічних проектів передових компаній, зокрема у працях Доуг Хеншена (Oracle), Клінта Фінлі (Microsoft), Агама Шаха (Hewlett-Packard), Френкса Білла (TerraData) та інших [4–7].

Останнім часом спостерігається підвищення інтересу до цієї теми з боку дослідників України та країн СНД. Так, Н. Шаховська та Ю. Болубаш у своїх працях досліджують сучасні бази даних, в яких використано технології «Big Data» [8], Л. Черняк досліджує концепцію «Big Data» в цілому [9], Р. Ускенбаєва досліджує питання впровадження «Big Data» в електронному уряді [10].

У сфері вивчення методів моделювання та оцінювання параметрів моделі із застосуванням «Big Data» слід відмітити праці Р. Беккермана, М. Біленко та Д. Лангфорда [11], Х. Б. МакМахан [12–13].

Треба відзначити, що питання визначення важливості того чи іншого параметра моделі у випадку, коли дані надходять у великій кількості та з великою швидкістю, є недостатньо висвітленим у сучасній науковій літературі.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Сам термін «Big Data» було введено значно пізніше, ніж практики почали працювати над проблемою великих даних — розроблення методів їх зберігання, оброблення та аналізу. Наразі спостерігається значне підвищення інтересу до цієї галузі як з боку вчених, так і з боку практиків технологічних компаній та бізнесу. Всі ці фактори привели до того, що результатів наукових досліджень з тематики «Big Data» публікується досить багато, включаючи і напрям розроблення ефективних методів моделювання та прогнозування.

У той же час недостатньо висвітленими є практичні питання щодо визначення інформативної важливості параметрів та їх відбору до кінцевої версії моделі, а також питання фільтрації шумів — неважливих параметрів. Також це питання недостатньо вивчено для розвитку технологій «Big Data».

У статті поставлено та розв'язано такі наукові завдання: аналіз застосування алгоритмів онлайн методів моделювання в умовах «Big Data», розроблено комп'ютерну реалізацію методу онлайн навчання з можливістю застосування розріджених векторів початкових даних та L1- і L2- регуляризацій, а також висвітлено питання онлайн методів навчання з фільтрацією параметрів моделі у випадку «Big Data» середовища.

Мета статті — дослідити та модифікувати метод оцінювання і відбору інформативно важливих параметрів за допомогою процедур регуляризації для прогнозування на «Big Data» та здійснити комп'ютерну реалізацію запропонованого алгоритму.

МЕТОДИ ПРОГНОЗУВАННЯ НА «BIG DATA»

Визначення інформативності параметрів моделі завжди було важливою частиною економіко-математичного моделювання. Зазвичай відбираючи параметри для кінцевої моделі, залишають лише найсильніші предиктори та виключають або ігнорують менш важливі.

Але у випадку високонавантажених систем, коли дані надходять з високою швидкістю та великої розмірності — «Big Data», традиційні методи машинного навчання на окремих вибірках підготовлених даних виявляються непродуктивними. Для вирішення проблем ефективного моделювання та прогнозування у системах «Big Data» можна використовувати онлайн методи навчання [14].

Визначення: «Big Data» в інформаційних технологіях — це серія підходів, інструментів та методів оброблення структурованих та неструктурованих даних великих обсягів і різноманітності для отримання результатів, які:

- 1) легко сприймаються людиною;
- 2) ефективні в умовах неперервного приросту інформації;
- 3) дозволяють здійснювати паралельні обчислення, розподілені по численних вузлах обчислювальної мережі.

В якості характеристик, які визначають поняття «Big Data», відзначають «три V»:

- 1) Volume — об'єм;
- 2) Velocity — швидкість, як у розумінні швидкості приросту, так і необхідності швидкого оброблення та отримання результату;
- 3) Variety — різноманітність, у розумінні можливості одночасного оброблення різних типів даних [15].

Традиційно для розв'язання задач класифікації використовують методи машинного навчання, основані на певному фіксованому наборі даних — це так званий пакетний (batch) підхід. При цьому усі дані доступні одразу і можуть бути оброблені на одному обчислювальному вузлі. Також пакетний підхід означає, що модель спочатку була навчена на певному наборі даних — training dataset, а потім тестується на тестовому наборі даних — test dataset, та використовується для прогнозування у практичній діяльності. В основі такого підходу лежить гіпотеза про те, що структура даних та статистичні співвідношення між параметрами моделі не змінюються в часі.

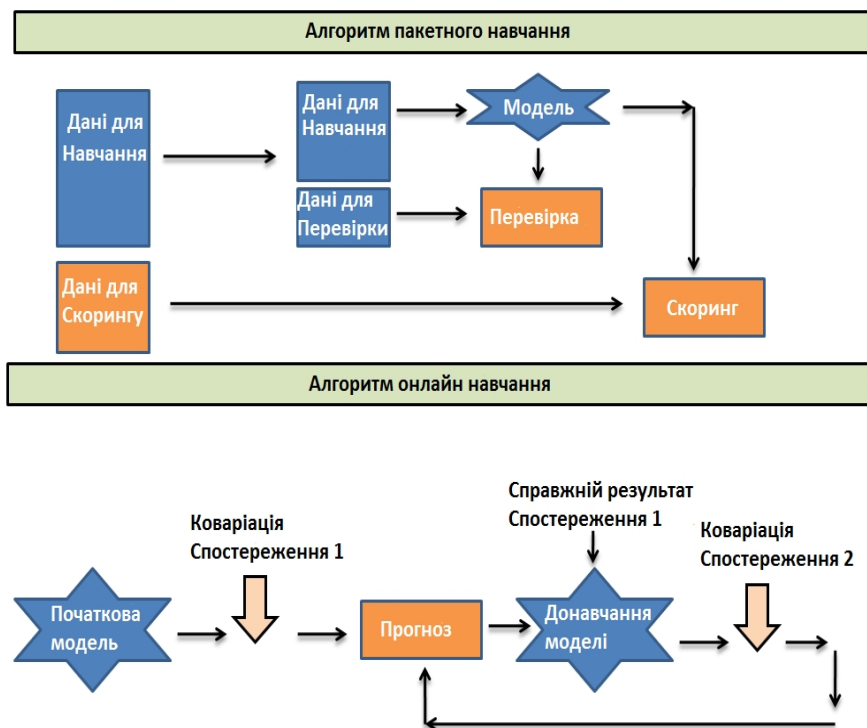


Рис. 1. Порівняння пакетного та онлайн-методів навчання моделі [16].

Спроби розв'язати задачу прогнозування пакетними методами призводили до нестійких у часі результатів, оскільки розмір вибірки для навчання від онлайн аукціону сягає кількох мільйонів записів за один день. Зміна структури вибірки досить відчутна, якщо вивчаються довготривалі процеси з розбиттям по днях тижня. У такому випадку обмежитись набором даних одного дня неприпустимо. Зазначимо, що наявність сильних впливів, наприклад, публікація резонансної новини на сайті, значно змінює тренд переходу за посиланням та саму структуру даних. Збільшення періоду аналізу призводить до значного зростання кількості даних. Але, навіть якщо після оброблення даних отримано надійний прогноз, похибка на наступних кроках прогнозування може швидко зростати через динамічність системи. Це підтверджує нагальну потребу постійного оновлення параметрів моделі для підтримки актуальності та точності прогнозу.

Вказані вище проблеми можна вирішити із застосуванням для моделювання алгоритмів, які дозволяють постійно здійснювати навчання моделі і одночасно отримувати прогнозовані значення (Рис. 1).

Лінійні методи класифікації мають багато переваг для використання у системах «Big Data» завдяки своїй простоті та можливості масштабування і паралельних обчислень. Хоча параметри моделі можуть мати велику розмірність, кількість ненульових коефіцієнтів при параметрах зазвичай складає не більше кількох сотень. Оскільки у процес навчання та роботи моделі залучаються лише параметри з ненульовими коефіцієнтами, це дозволяє економити ресурси та покращити час оброблення даних у порівнянні з іншими методами.

МОДИФІКАЦІЯ FTRL МОДЕЛІ, ОЦІНЮВАННЯ ТА ВІДБІР ПАРАМЕТРІВ

Розглянемо використання алгоритму Follow The Regularized Leader (FTRL) [6] для прогнозування ймовірності вибору продукту за рекламним оголошенням в інтернеті (перехід за посиланням). Цей алгоритм базується на тому, що на кожному кроці вибирається такий набір параметрів об'єкта (в цьому випадку — рекламного оголошення), який приводить до найменшої похибки на цьому кроці:

$$w_t = \arg \min \sum_{i=1}^{t-1} v_i(w) + R(w),$$

де $v_i(w)$ — функція втрат, w — коефіцієнти початкових параметрів моделі, $R(w)$ — функція залишків, t — номер ітерації навчання моделі.

Функція втрат має вигляд:

$$v_t(w) = \|w - x_t\|^2,$$

де x_t — бінарний вектор початкових параметрів моделі, тобто $x_t = 1$, якщо параметр наявний, $x_t = 0$, якщо відсутній.

У випадку лінійної функції оптимізації функція втрат має вигляд:

$$v_t(w) = \langle w, z_t \rangle,$$

де z_t — величина інформативності параметрів на ітерації t .

Оскільки у випадку прогнозування переходу за рекламним посиланням досліджувана величина є бінарною залежною змінною, то зручно використовувати логарифмічну функцію втрат:

$$v_t = (\sigma(w \cdot x_t) - y_t) x_t,$$

де σ — сігмоїдальна функція:

$$\sigma(a) = \frac{1}{1 + e^a},$$

де a — константа, параметр моделі, що відповідає за швидкість навчання.

Використання алгоритму FTRL передбачає обов'язкове залучення повного набору початкових параметрів для прогнозування змін досліджуваної величини. У випадку «Big Data» оброблення повного набору початкових параметрів може призвести до перенавантаження системи та значного зростання вартості розрахунків.

Для оптимізації процесу розрахунків та мінімізації їх вартості запропоновано модифікувати алгоритм FTRL з використанням процедури регуляризації. Такий підхід дозволить відбирати найбільш інформативні параметри для прогнозування з дотриманням належного рівня якості прогнозу. Загальноприйнятими є такі типи регуляризації — L0, L1 та L2 [17].

За результатами попереднього аналізу вибрано функції регуляризації L1 та L2 для зниження розмірності початкового набору параметрів. Тоді функція залишків визначається з урахуванням регуляризації за формулою

$$R(w) = \frac{1}{2\eta} \|w\|^2$$

для деякого $\eta > 0$. Отже, ітерація алгоритму навчання матиме вигляд:

$$w_{t+1} = -\eta \sum_{i=1}^t z_i = w_t - \eta z_t.$$

Останню рівність можна також писати у вигляді:

$$w_{t+1} = w_t - \eta \nabla v_t(w_t),$$

що відповідає рівнянню алгоритму покрокового градієнтного спуску.

Остаточно формула обрахунку параметрів моделі FTRL з регуляризациєю має вигляд:

$$w_{t,i} = \begin{cases} 0, & \text{якщо } |z_i| \leq \lambda_1 \\ -\left(\frac{\beta + \sqrt{n_i}}{a} + \lambda_2 \right)^{-1} (z_i - \text{sign}(z_i) \lambda_1), & \text{якщо } |z_i| > \lambda_1 \end{cases},$$

де a, β — початкові коефіцієнти, які відповідають за швидкість навчання, λ_1, λ_2 — коефіцієнти, які відповідають за силу регуляризацій L1 та L2 відповідно. Вектори z, n розраховуються на кожному кроці (ітерації) разом з коефіцієнтами моделі w та залежать від початкових даних. Формули для розрахунку векторів z, n мають вигляд:

$$v_i = (p_t - y_t) x_i,$$

$$\sigma_i = \frac{1}{a} \left(\sqrt{n_i + v_i^2} - \sqrt{n_i} \right),$$

$$z_i = z_{i-1} + v_i - \sigma_i w_{t,i},$$

$$n_i = n_{i-1} + v_i^2.$$

Таким чином, модель вибору значущих початкових параметрів, яка враховує зазначену вище модифікацію алгоритму FTRL, дозволяє залишати для аналізу тільки ті параметри, які задовольняють умову $w > 0$.

Якщо покласти $\eta = \text{const}$, $\lambda_1 = 0$, то отримуємо алгоритм градієнтного спуску. На відміну від алгоритму покрокового градієнтного спуску, за яким на кожному кроці зберігаються коефіцієнти початкових параметрів w , FTRL алгоритм дає змогу зберігати вектор z , а потім на його основі розраховується інформативність початкових параметрів. Таким чином, одночасно виконуються процеси фільтрації неінформативних параметрів та навчання моделі.

Модель FTRL належить до класу «жадібних» алгоритмів (greedy algorithm). Даний клас алгоритмів базується на прийнятті локально оптимального рішення на кожному кроці з метою прийти до глобального оптимуму наприкінці [18, 19]. Метод налаштування та фільтрування коефіцієнтів за допомогою оптимізації з використанням L1-регуляризації отримав назву LASSO (Least Absolute Shrinkage and Selection Operator) [20].

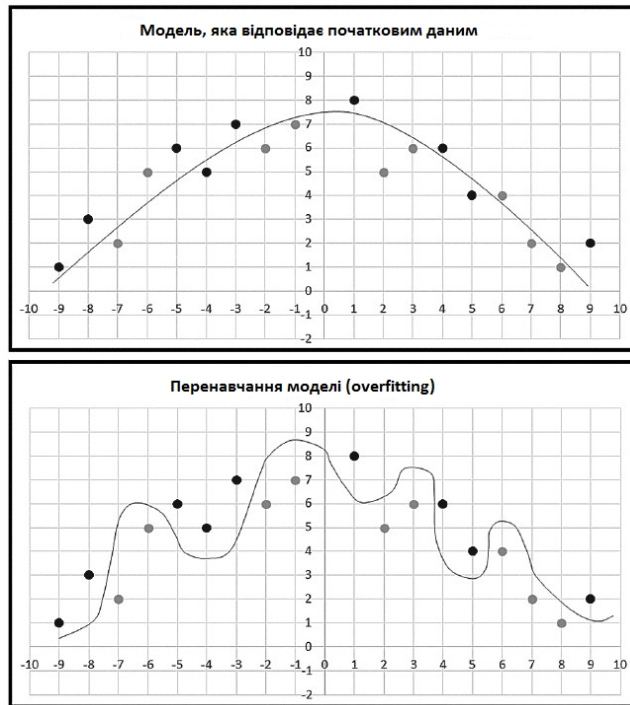


Рис. 2. Перенавчання та нормальна робота моделі [19].

Необхідно відзначити, що використання регуляризацій L1 та L2 дозволяє уникнути такого поняття як перенавчання моделі (overfitting) (Рис. 2).

Отже, регуляризація використовується як «штраф» за велику вагу певного параметра моделі, що дозволяє уникнути перенавчання. Виходячи з доведених властивостей задачі оптимізації під час пошуку рішення з використанням L1-регуляризації, отримано оптимальні рішення, а саме вектор w має властивість розрідженості, тобто частина коефіцієнтів дорівнює нулю.

Таким чином, модифіковано алгоритм FTRL з використанням процедур регуляризації для випадку онлайн навчання, що дозволяє його безпечне використання у «Big Data» системах. Запропоновану модель прогнозування ймовірності вибору продукту розглянуто на прикладі роботи аукціону онлайн реклами.

КОМП'ЮТЕРНА РЕАЛІЗАЦІЯ МОДЕЛІ ПРОГНОЗУВАННЯ ЙМОВІРНОСТІ ВИБОРУ ПРОДУКТУ

Комп'ютерна реалізація запропонованої моделі з використанням мови програмування Python має такий вигляд:

```
#імпортуємо необхідні бібліотеки
import numpy as np

#створюємо клас модель з відповідними функціями та параметрами
class FTRLProximal:
```

```
#функція ініціалізації об'єкту класу
def __init__(self, n_inputs):
    self.z = np.zeros(n_inputs)
    self.n = np.zeros(n_inputs)

#сигмоїдна функція
def sigmoid(self, x):

    return 1 / (1 + np.exp(-x))

# процедура тренування моделі 1 ітерація з регу-
ляризацією
def fit_iteration(self, idx, y, alpha, beta,
lambda_1, lambda_2):

    alpha_inv = 1 / alpha

    w = self.weight_update(idx, alpha_inv,
beta, lambda_1, lambda_2)
    p = self.sigmoid(w.sum())
    g = (p - y) * x_i
    dn = self.n[idx] + np.power(g, 2)
    sigma = alpha_inv * (np.sqrt(dn) -
np.sqrt(self.n[idx]))
    self.z[idx] = self.z[idx] + g -
np.multiply(sigma, w)
    self.n[idx] = dn

    return p, idx, g, w

# процедура оновлення коефіцієнтів моделі з ре-
гуляризацією
def weight_update(self, idx, alpha_inv, beta,
lambda_1, lambda_2):
    dw = np.zeros(idx.size)
    mask = np.abs(self.z[idx]) > lambda_1

    z_i = self.z[idx][mask]
    n_i = self.n[idx][mask]

    tmp_1 = z_i - np.sign(z_i) * lambda_1
    tmp_2 = (beta + np.sqrt(n_i)) * alpha_inv +
lambda_2

    dw[mask] = -np.divide(tmp_1, tmp_2)

    return dw
# процедура для скорингу (прогнозування) з
регуляризацією
```

```

def predict(self, idx, alpha_inv, beta,
lambda_1, lambda_2):
    w = self.weight_update(idx, alpha_inv,
beta, lambda_1, lambda_2)
    return self.sigmoid(w.sum())

```

Результати комп'ютерних досліджень цієї програмної реалізації на згенерованих даних, які імітують роботу аукціону онлайн реклами, показують, що коефіцієнти параметрів отримують найбільші значення за умови $L1 = 0$ та монотонно зменшуються зі збільшенням регуляризації (Рис. 3). Тобто за відсутності регуляризації прогнозування здійснюється за усіма початковими параметрами, збільшуючи при цьому ймовірність перенавчання моделі та ускладнюючи розрахунки. Використання регуляризації дозволяє відфільтровувати параметри з низькою інформативністю за умови нульових значень коефіцієнтів. Також слід відзначити, що коефіцієнт регуляризації потрібно обережно підбирати, контролюючи величину похибки прогнозу. У випадку сильної регуляризації можна отримати результат, коли за розробленим алгоритмом всі параметри визначатимуться неінформативними і модель не працюватиме, даючи постійно прогноз, рівним нулю.

Показано, що за алгоритмом LASSO відбираються більш інформативні параметри. У випадку існування значної кореляції між кількома початковими параметрами, в результаті роботи алгоритму LASSO залишається лише один найважливіший параметр, а усі інші — прямують до нуля.

Оскільки за цим методом будується кусково-лінійна траєкторія на просторі початкових параметрів, то крім функції фільтрації, LASSO дозволяє визначити порядок входження параметрів в інформативну множину та виявляти відносну важливість кожного з них.

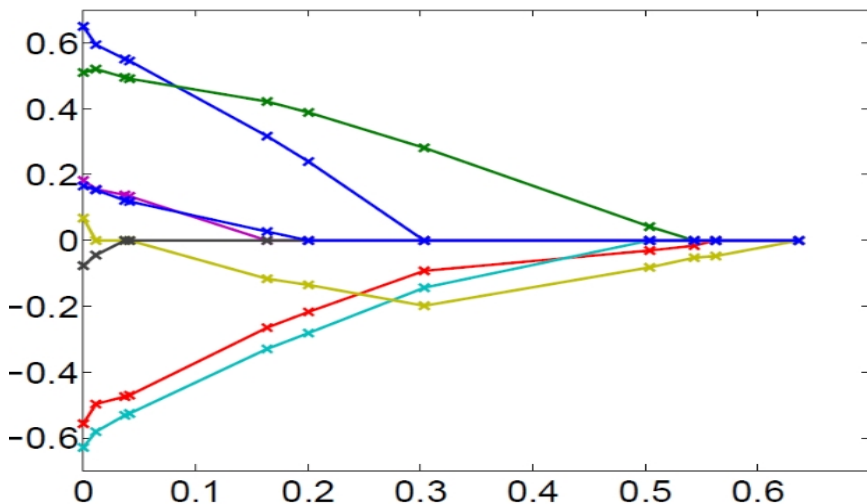


Рис. 3. Залежність значення коефіцієнтів параметрів моделі (вісь Y) від коефіцієнта регуляризації (вісь X) [20]

Запропоновану програмну реалізацію моделі FTRL з регуляризацією та механізмом онлайн навчання можна використовувати для прогнозування ймовірності відгуків на рекламні оголошення, активації продукту чи іншої активності в соціальних мережах, онлайн аукціонах, рекомендаційних системах та інших видах інтернет діяльності.

ВИСНОВКИ

Удосконалено модель FTRL на випадок онлайн навчання, що дозволяє ефективно прогнозувати бінарні сигнали при використанні високонавантажених «Big Data» систем. Оскільки кількість параметрів моделі може бути значною, що ускладнює використання моделі та збільшує час і витрати ресурсів на обслуговування процесів моделювання, розв'язати це завдання можна за допомогою використання L1-регуляризації, що дозволяє в режимі реального часу ефективно контролювати кількість параметрів моделі та оцінювати їх відносну інформаційну важливість.

Розроблена програмна реалізація описаної математичної моделі прогнозування ймовірності вибору продукту дозволяє ефективно працювати з розрізженими векторами початкових параметрів та оновлювати лише коефіцієнти тих параметрів, які надано у початковому наборі. Реалізований алгоритм передбачає використання L1- та L2-регуляризацій, що допомагає краще контролювати процес навчання моделі та уникнути її перенавчання.

Запропоновану програмну реалізацію може бути використано для моделювання та прогнозування процесів із швидкими потоками даних, таких як соціальні мережі, онлайн аукціони, ігри, рекомендаційні системи та інші види інтернет діяльності.

ЛІТЕРАТУРА

1. Майер-Шенбергер В. Большие данные. Революция, которая изменит то, как мы живем, работаем и мыслим. Москва, 2014. 240 с.
2. Regelson M., Fain D. Predicting click-through rate using keyword clusters. *Proceedings of the Second Workshop on Sponsored Search Auctions*. Vol. 9623. Citeseer, 2006.
3. M. Richardson, E. Dominowska, and R. Ragno. Predicting clicks: estimating the click-through rate for new ads. Proceedings of the 16th International Conference on World Wide Web. ACM (May 08–12, Banff). Banff, AB, Canada, 2007. P. 521–530.
4. Shalev-Shwartz Shai. Online Learning and Online Convex Optimization. *Foundations and Trends in Machine Learning*. 2011. P. 107–194.
5. Gasso G., Papaioannou A., Spivak M., Bottou L. Batch and online learning algorithms for nonconvex Neyman-Pearson classification. *ACM Transaction on Intelligent System and Technologies*, 2(3). 2011.
6. Н Brendan McMahan. Follow-the-regularized-leader and mirror descent: Equivalence theorems and l1 regularization. 14th International Conference on Artificial Intelligence and Statistics. (April 11–13, 2011, Ft. Lauderdale). Ft. Lauderdale, FL, USA, 2011. P. 525–533.
7. Фрэнкс Б. Укрощение больших данных: как извлекать знания из массивов информации с помощью глубокой аналитики. Москва, 2014. 352 с.
8. Шаховська Н.Б., Болюбаш Ю.Я. Модель Великих Даних «Сутність — характеристика». URL: http://www.academia.edu/19609620/%D0%9C%D0%9E%D0%94%D0%95%D0%9B%D0%AC_%D0%92%D0%95%D0%9B%D0%98%D0%9A%D0%98%D0%A5_%D0%94%D0%90%D0%9D%D0%98%D0%A5_%D0%A1%D0%A3%D0%

- A2%D0%9D%D0%86%D0%A1%D0%A2%D0%AC-%D0%A5%D0%90%D0%A0%D0%90% D0 %9A% D0%A2%D0%95%D0%A0%D0%98%D0%A1%D0%A2%D0%98%D0%9A%D0%90_ (11.05.2017)
9. Черняк Л. Большие Данные — новая теория и практика. *Открытые системы. СУБД*. Москва, 2011. № 10. URL: <http://www.osp.ru/os/2011/10/13010990/> (11.05.2017)
 10. Uskenbaeva, R.K., Kuandykov A.A., Kalizhanova A.U. Tasks of resources provision of distributed computer system's functionality. *World Academy of Science, Engineering and Technology*. 2012. Iss. 70. P. 580–581.
 11. R. Bekkerman, M. Bilenko, J. Langford. Scaling up machine learning: Parallel and distributed approaches. Cambridge University Press. 2011.
 12. H.B. McMahan. Follow-the-regularized-leader and mirror descent: Equivalence theorems and L1 regularization. 14th International Conference on AISTATS. (April 11–13, 2011, Ft. Lauderdale, FL, USA), Ft. Lauderdale, 2011.
 13. H.B. McMahan and M. Streeter. Adaptive bound optimization for online convex optimization. (June 27–29, 2010, Haifa, Israel), Haifa, 2010.
 14. Гриценко В.І., Онищенко І.М. Застосування інструментів Big Data для підвищення ефективності онлайн реклами. Економіко-математичне моделювання соціально-економічних систем. *Збірник наукових праць*. Вип.21. Київ, 2016. С 5–21.
 15. Big Data. Wikipedia. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Big_data (11.05.2017)
 16. Что такое Real-Time Bidding. URL: <http://konverta.ru/how> (11.05.2017)
 17. Introduction to online machine learning: Simplified. URL: <http://www.analytic-svidhya.com/blog/2015/01/introduction-online-machine-learning-simplified-2/> (11.05.2017)
 18. Riedman J. H., Hastie T., Tibshirani R. Regularization paths for generalized linear models via coordinate descent. *Journal of Statistical Software*. 2010. Vol. 33, № 1. P. 1 – 22.
 19. L1- и L2-регуляризация в машинном обучении. URL: <https://msdn.microsoft.com/uk-ua/magazine/dn904675.aspx> (11.05.2017)
 20. L1-регуляризация линейной регрессии. Регрессия наименьших углов (алгоритм LARS). URL: chrome-extension://ecnpnlgnajanjnkcmpancedjoidceilk/content/web/viewer.html?source=extension_pdfhandler&file=http%3A%2F%2Fwww.machinelearning.ru%2Fwiki%2Fimages%2F7%2F7e%2FVetrovSem11_LARS.pdf (11.05.2017)

Отримано 28.07.2017

REFERENCES

1. Maier-Shenberher V., Kuker K. Bolshye dannye. Revoliutsiya, kotoraiya yzmenyt to, kak my zhyvem, rabotaem y myslym. Moscow, 2014. 240 p. (in Russian).
2. Regelson M., Fain D. Predicting click-through rate using keyword clusters. In Proceedings of the Second Workshop on Sponsored Search Auctions, volume 9623. Citeseer, 2006.
3. Richardson M., Dominowska E., Ragno R. Predicting clicks: estimating the click-through rate for new ads. In Proceedings of the 16th international conference on World Wide Web. P. 521–530. ACM. (May 08-12, 2007, Banff, AB, Canada) Banff, 2007.
4. Shalev-Shwartz Shai. Online Learning and Online Convex Optimization. *Foundations and Trends in Machine Learning*. 2011. P. 107–194.
5. Gasso G, Pappaioannou A., Spivak M., Bottou L. Batch and online learning algorithms for nonconvex Neyman-Pearson classification *ACM Transaction on Intelligent System and Technologies*. 2(3). 2011.
6. H Brendan McMahan. Follow-the-regularized-leader and mirror descent: Equivalence theorems and l1 regularization. 14th International Conference on Artificial Intelligence and Statistics. (April 11–13, 2011, Ft. Lauderdale, FL, USA), Ft. Lauderdale, 2011. P. 525–533.
7. Byll Frenks. Ukroshchenye bolshykh dannykh: kak yzvyekat znaniya yz massyvov ynfomatsyy s pomoshchiu hlubokoi analytyky. Moscow, 2014. 352 p. (in Russian)
8. Shakhovska N.B., Boliubash Yu.Ia. Model Velykykh Danykh «Sutnist - kharakterystyka». 2015 r. URL: http://www.academia.edu/19609620/%D0%9C%D0%9E%D0%94%D0%95%D0%9B%D0%AC_%D0%92%D0%95%D0%9B%D0%98%D0%9A

- %D0%98%D0%A5_%D0%94%D0%90%D0%9D%D0%98%D0%A5_%D0%A1%D0%A3%D0%A2%D0%9D%D0%86%D0%A1%D0%A2%D0%AC-%D0%A5%D0%90%D0%A0%D0%90%D0%A%D0%A2%D0%95%D0%A0%D0%98%D0%A1%D0%A2%D0%98%D0%9A%D0%90_(11.05.2017)
9. Cherniak L. Bolshye Dannye — novaia teoriya y praktyka. Otkrytye systemy. SUBD. Moscow, 2011. № 10. URL: <http://www.osp.ru/os/2011/10/13010990/> (11.05.2017)
 10. Uskenbaeva, R.K., Kuandykov A.A., Kalizhanova A.U. Tasks of resources provision of distributed computer systems functionalit. *World Academy of Science, Engineering and Technology*. 2012. Iss. 70. P. 580–581.
 11. R. Bekkerman, M. Bilenko, and J. Langford. Scaling up machine learning: Parallel and distributed approaches. Cambridge University Press, 2011.
 12. H.B. McMahan. Follow-the-regularized-leader and mirror descent: Equivalence theorems and L1 regularization. In AISTATS. (April 11–13, 2011, Ft. Lauderdale, FL, USA), Ft. Lauderdale, 2011.
 13. H.B. McMahan and M. Streeter. Adaptive bound optimization for online convex optimization. In COLT (June 27–29, 2010, Haifa, Israel), Haifa, 2010.
 14. Hrytsenko V.I., Onyshchenko I.M. Zastosuvannia instrumentiv Big Data dlia pidvyshchennia efektyvnosti onlain reklamy. *Ekonomiko-matematychne modeliuvannia sotsialno-ekonomichnykh system. Zbirnyk naukovykh prats*. Vyp. 21. Kyiv, 2016. P. 5–21.
 15. Big Data. Wikipedia. URL : https://en.wikipedia.org/wiki/Big_data (11.05.2017)
 16. Chto takoe Real-Time Bidding. URL: <http://konverta.ru/how> (11.05.2017)
 17. Introduction to online machine learning: Simplified. URL: <http://www.analyticsvidhya.com/blog/2015/01/introduction-online-machine-learning-simplified-2/> (11.05.2017)
 18. Riedman J. H., Hastie T., Tibshirani R. Regularization paths for generalized linear models via coordinate descent. *Journal of Statistical Software*. 2010. Vol. 33, №. 1. P. 1–22
 19. L1- y L2-rehuliryzatsiya v mashynnom obuchenyy. URL: <https://msdn.microsoft.com/uk-ua/magazine/dn904675.aspx> (11.05.2017)
 20. L1-rehuliryzatsiya lyneinoi rehressyy. Rehressyia naymenshykh uhlov (alhorytm LARS). URL: chrome-extension://ecnphlgnajanjnkcmpancdjoidceilk/content/web/viewer.html?source=extension_pdfhandler&file=http%3A%2F%2Fwww.machinelearning.ru%2Fwiki%2Fimages%2F7%2F7e%2FVetrovSem11_LARS.pdf (11.05.2017)

Received 28.07.2017

В.І. Грищенко, член-корреспондент НАН України, директор
Міжнародного научно-учебного центру
інформаційних технологій і систем
НАН України і МОН України
e-mail: vig@irtc.org.ua.

І.М. Онищенко, канд. економ. наук,
старш. науч. сотр. отд. економіко-соціальних
систем і інформаційних технологій
e-mail: standardscoring@gmail.com
Міжнародний научно-учебний центр інформаційних
технологій і систем НАН України і МОН України,
пр. Акад. Глушкова, 40, 03187, г. Київ, Україна

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНФОРМАТИВНОСТИ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВЕРОЯТНОСТИ ВЫБОРА ПРОДУКТА В УСЛОВИЯХ «BIG DATA»

Внедрение новых методов и подходов к обработке данных, получивших название «Big Data», особенно актуально для систем с высокой загруженностью. В условиях быстрого потока данных традиционные пакетные методы моделирования не всегда дают точные и

устойчивые результаты и не имеют эффективных алгоритмов отбора важных переменных. Рассмотрен онлайн-подход к моделированию и прогнозированию в условиях «Big Data» среды, а также методы оценки и отбора переменных модели по их информативности. Для определения информативности параметра рассмотрен метод построения модели с использованием регуляризаций L1(LASSO) и L2 (RIDGE), а также модель Follow-The-Regularized-Leader. Теоретические и математические результаты сопровождаются программной реализацией описанного метода на языке программирования Python.

Методы online-learning позволяют получить оценки информативности параметров модели в режиме реального времени, что дает возможность использовать их для высоконагруженных систем обработки данных, прогнозирования и принятия решений.

Ключевые слова: информационные технологии в экономике, экономико-математическое моделирование, алгоритмы онлайн обучения, регуляризация, Big Data.

V.I. Gritsenko, Corresponding Member of NAS of Ukraine,
Director of International Research and Training
Center for Information Technologies and Systems
of the National Academy of Sciences of Ukraine
and Ministry of Education and Science of Ukraine
e-mail: vig@irtc.org.ua
I.M. Onyshchenko, PhD (Economics), Senior Researcher,
Department of Economic and Social
Systems and Information Technologies
e-mail: standardscoring@gmail.com
International Research and Training Center for Information
Technologies and Systems of the National Academy
of Sciences of Ukraine and Ministry of Education and Science of Ukraine,
40, Acad. Glushkov av., 03187, Kiev, Ukraine

DETERMINING THE INFORMATIVITY OF PARAMETERS IN A PROGNOSTIC MODEL FOR EVALUATING THE PROBABILITY OF PRODUCT SELECTION IN CASE OF BIG DATA

Introduction. Fast growth of collected and stored data due to IT booming caused a problem called “Big Data Problem”. Most of the new data are unstructured and this is the core reason why traditional relational data warehouse are so inefficient to deal with Big Data. Predicting and modeling based on Big Data also can be problematic because of high volume and velocity. To avoid some problems online learning algorithms can be successful for high-load systems.

The purpose of the article is to develop an approach to feature selection and modeling in case of Big Data with using online learning algorithm.

Method. Online learning algorithm for FTRL (Follow-The-Regularized-Leader) model with L1 and L2 regularization to select only important features was used.

Results. The approaches of modeling in cases of using batch and online learning algorithms are described on the example of online auction system. The online learning algorithm has very strong preferences in case of high load and high velocity. Mathematical background for modification of linear discriminator of FTL (Follow-The-Leader) model with adding regularization was described. L1 and L2 regularization allows us to select important features in real time. If the feature becomes useless, the regularization will set the corresponding coefficient equal to 0. But it does not remove the feature from training process and the coefficient can be restored with some value in case of its importance for model. The full process is prepared as a program in Python and can be used in practice.

The results may be applied for modeling and forecasting in projects with high volume or velocity of data, for example — social networks, online auctions, online gaming, recommendation systems and others.

Conclusions. FTRL model to work as online learning algorithm that allows to predict binary outcomes in high load Big Data systems was modified.

Getting into account that number of predictors can be enormous it takes much computing resources, time and make the process difficult. This feature selection problem was solved with using L1 regularization. The selection procedure was added to modified online learning FTRL model. L1 regularization to score the importance of predictors in real time was used.

A program that runs described mathematical algorithm was developed. Note that the algorithm effectively works with sparse matrices by analyzing incoming data and updating weights only for predictors that are presented. The algorithm has L1 and L2 regularization features that may be used for feature selection and avoid overfitting.

Keywords: *information technologies in economics, economical and mathematical modeling, online learning algorithms, regularization, Big Data.*

DOI: <https://doi.org/10.15407/kvt190.04.019>

UDC 303.725

K.M. SYNYTSYA, PhD (Engineering)

Deputy Director for Research

e-mail: ksynytsya@irtc.org.ua

International Research and Training Center for Information Technologies

and Systems of the National Academy of Sciences of Ukraine

and Ministry of Education and Science of Ukraine,

Acad. Glushkova av., 40, Kiev, 03187, Ukraine

E-LEARNING MODELS ANALYSIS FOR LIFELONG LEARNING

Introduction. *E-learning models reflect various aspects of ICT application in education but they are not intended for reflecting long periods of time, multiple sources of information and knowledge involved or dynamic control from the learner's side. These and other features are important for lifelong learning modeling aimed at raising the efficiency of learning by the use of individual learner's data.*

The purpose of the paper is to review *e-learning models that describe frameworks, abstract architectures or reference models for identification of potential prototype for lifelong e-learning model and to outline the requirements to its construction.*

Results. *The study reveals typical features of the e-learning models grouped according to the level of abstraction and connection to technology and pedagogy. The paper presents an overview of lifelong learning specifics and models that could be considered during the lifelong e-learning modeling. Although none of the discussed models could serve as a unique prototype, some of them could either be integrated in a lifelong e-learning model or guide the modeling. A set of requirements to lifelong e-learning model is suggested.*

Conclusion. *Lifelong e-learning model should be presented as a set of views that are relevant to actors in e-learning and reflect longevity, multiple sources, context of learning, management and learner's control, collection and sharing the data about learning. The main purpose of it could be in identification of components, tools and processes that should be implemented for intelligent and efficient lifelong learning support*

Key words: *e-learning, lifelong learning, e-learning framework, reference model, learner-centric model, requirements to e-learning model.*

INTRODUCTION

The most widely known interpretation of the term “e-learning” [1] is related to the use of information and communication technologies (ICT) in learning, education and training thus joining other “electronic” application scopes such as e-health or e-government. The concept evolves in years enlarging the coverage of processes and activities included [2]. Its maturity coincided with a wide spread of the learning management systems (LMS) for distance learning support, therefore, for many users e-learning has been associated with this particular class

K.M. SYNYTSYA, 2017

ISSN 2519-2205 (Online), ISSN 0454-9910 (Print). Киб. и вьч. техн. 2017. № 4 (190)

of technologies. Indeed, LMS gradually incorporated functions typical for formal education and became indispensable for educational organizations enabling learning content delivery, assessment, monitoring learning progress, management of groups and reporting results. Although distance learning successfully imitates some types of classroom learning activities (especially lecturing and testing), other types of e-learning, such as simulations and serious games, various learning environments and learning communities, cannot be easily incorporated within one platform but may be instrumental and effective to support professional training, teach certain types of behavior, enable particular learning activities, or answer learning demands.

Although traditional education remains a cornerstone for professional career, other forms of learning and training become important for on-the-job training and professional development, and their share is growing. To emphasize the variety of cognitive activities related to the acquisition of personal, social and professional knowledge, skills and attitudes by an individual through the life a concept of lifelong learning has been introduced [3]. Within lifelong learning, informal and non-formal learning through professional communities, workshops and online sources is a significant part of all learning activities. Therefore, to adequately reflect lifelong learning features, the learning models focused on traditional education have to be extended to embrace other types of learning activities and forms of learning.

PROBLEM STATEMENT

Lifelong learning offers not only quantitative change in variety of technologies and pedagogical approaches but a change of paradigm. E-learning as an integral part of the daily activities needs to be considered in a context which determines learning objectives and conditions of learning. Thus its efficiency primarily depends not on the technologies or learning strategies applied but on its relevancy to the individual. A model for lifelong e-learning is needed which would reflect its specific features, such as:

- longevity of the learning process, i.e. possibility of taking into account the results of previous learning and experience;
- incorporation of adult learning principles to enable self-regulation and management of individual learning;
- multiple sources of e-learning services and unlimited pool of e-learning resources;
- learning in context, i.e. taking into account parallel activities and environment in which e-learning is taking place.

The purpose of this study is to outline the requirements to the lifelong e-learning model and identify potential prototypes among available models of e-learning. The paper presents a critical review of the models and analysis of their capabilities to reflect certain features of lifelong e-learning. Due to significant number of models related to e-learning, the decision was made to build literature research using not only individual papers but also structured overviews of the research publications. The focus was on conceptual models, frameworks and abstract architectures as candidates for life-long e-learning modeling, the most promising models of each group are shortly outlined.

LIFELONG LEARNING FEATURES

Lifelong learning extends the learning timeframe beyond the dedicated period of formal learning and expands the forms of learning experience. It changes the scope of the learning modeling, as well as the level of consideration. Let's outline the main features of the lifelong learning [4].

E-learning for particular category of users (schoolchildren, students, employees) is well researched. Lifelong learning emphasizes on an individual rather than on a particular situation or objective of learning, therefore, one can suppose that observing his or hers behavior over instructional sessions and individual learning experiences, further learning process could be enhanced by filtering and targeting of the learning content. So far provision for individual needs, learning preferences and knowledge level has been done within organization-centric paradigm through adaptation, individualization or personalization models. These studies are focused on a closed learning cycle, well-defined environment or are linked to a particular delivery technology and thus are not applicable to open environments with changing technologies.

Learner-centric view on the learning means that the learner is considered as the only and primary customer, all processes are designed based on his/her requirements and thus the learning content must be collected, tailored and sequenced in a way to meet his/her individual learning objectives taking into account when and how the learning will take place. This situation differs from a system view on learning when the learner has to pass an entrance test to be evaluated and accepted for a particular course. In other words, "course-based" e-learning model designed according to its face-to-face pattern needs to be reconsidered for the purpose of post-graduate and individual adult learning, as it is aimed at construction of the knowledge or building skills from scratch whereas in many cases individual renovation or reconstruction is needed. Although intelligent tutoring systems are able to provide individually-oriented coaching and learning support within a well-defined domain, a generic solution does not exist and thus finding relevant learning content remains an issue.

Essential difference between classical learning and lifelong learning is in the context within which the learning is taking place. Usually learning is considered as a dedicated activity in an isolated environment, i.e. a learner is focused on the learning process during the session time, is able to interact with the learning content as it was envisaged, and does not need interaction with other applications. For lifelong learning it is not the case, as sessions may be interrupted, gaps between the sessions may be substantial so access to previous information or summary needed to proceed, and environment may be noisy or limit some information channels. Besides the real world environment, context is considered as a situation that caused the need for learning. It is usually not stated in the learning objective but is important for efficient on-the-job training.

A concept of lifelong learning allows for consideration of all learning-related processes as a whole, thus suggesting that all data related to the learning which is relevant for analysis and modeling should be collected in a unified way. This collection may be used as an input for learner modeling in a traditional sense, i.e. to represent a status of his/her knowledge and skills, but also to identify efficient learning strategies and learning style, to determine parameters of

forgetting and reminding etc. Besides processes directly related to information, knowledge and skills acquisition, lifelong learning embraces related processes of planning, determining the goal of learning, evaluation of results. With rapidly changing user needs and learning technologies, extended learning programs that are planned in advance become obsolete before their completion so dynamic planning is necessary.

Taking into account specific features of the lifelong learning, there is a need for a new e-learning model tolerant to ongoing technology updates, which would support an individual in his/her e-learning through formal education, professional training, as well as various types of individual learning and informal learning activities [5].

GROUPING THE E-LEARNING MODELS

Along with enhancement of the e-learning technologies and extension of their application in various learning, education and training situations, a wide variety of e-learning models have been introduced. These models reflect some abstract view on organization of learning in technology augmented world, the change of participants' roles and learning environments, but also present some features, functions and components of e-learning implementations. Many attempts have been made to offer some general classification [6–8], however, a comprehensive taxonomy has not been produced yet which may be attributed to the lack of common parameters for the models.

By the time “e-learning” term was coined, computer-based learning and some models of human-computer interaction were already in place although limited to a 1:1 interaction of a learner to a teacher represented by some computer-based course. Gradually, e-learning demonstrated capability to deal with multiple learners and learning resources, facilitate group activities, collaborative work, and peer-to-peer learning. In individual e-learning modeling, the model usually presents knowledge or skills acquisition process, dealing with portions of information for remediation and explanation, selection of tasks and correction of mistakes. Further on, other objects and processes were included into consideration, such as learning resources, their creation, description and management, administrative processes typical for learning organizations, data collection, assessment and evaluation. On the one hand, e-learning has been recognized as a type of learning appropriate for traditional educational body, on the other, learning technologies provided various formats of e-learning: just-in-time, just-for-me, on demand — that are not directly related to any specific organizational structure.

Significant share of the e-learning models are in fact focused on specific issues, such as support of human-computer and human-human communication, use of multimedia, or learner modeling [9]. Despite their narrow focus, some of them may be reconsidered for incorporation within future e-learning frameworks at some level of details, as big data and learning analytics are able to provide sufficient justification for their validity.

The description of the e-learning models that follows will be arranged around models presenting high level of abstraction and intended for soliciting some useful features, identifying effective modeling approach or methodology, determining common conceptual background, as well as a potential for their extension and integration aimed at supporting lifelong e-learning modeling.

Considering earlier attempts to identify some groups of the models [10], we further focus on:

- 1) e-learning model as a description of learning/instruction process, focusing on the ability to support particular pedagogical models and learning strategies;
- 2) e-learning model as an abstract framework, a conceptual model that describes this phenomenon;
- 3) e-learning model as a reference architecture referring to some commonly known components to outline the structure and functionality;
- 4) e-learning model as a representation of learner-centric environment.

PEDAGOGICALLY-ORIENTED MODELS

E-learning models that explicitly state underpinning instructional theory or pedagogical approach belong to the group of models intended for those seeking a theoretical soundness of learning technology use.

Most of the models fit into one of the main approaches featuring the way of learning.

1. An instructional approach that covers strategies intended to teach a learner through a planned sequence of instructional units. They provide variations of a learning cycle including presentation of the content, testing of learner's understanding, feedback on the results and progress to the next unit when results are satisfactory. Variations of this approach are implemented in many e-learning samples, such as distance courses.

2. A constructive approach that emphasizes on explorative or discovery learning. Typically it is related to performing tasks in a learning environment that facilitates learning by feedback, hints, reference material and summarizing. This group is represented by educational games, simulations, micro-worlds.

3. A communicative approach which is based on social learning theories and is transformed into networked learning or communities of practice. Technology role is ranged from the transfer channel to an information source or a virtual partner.

Detailed description of the sample models from each group could be found in [11–13], however, as many other specific models, they do not offer a way to integrate them into a large-scale picture with other resources, approaches and technologies.

A general view on the role of pedagogy in e-learning is presented in the triadic theoretical framework [14], which identifies certain assumptions about learning leading to recent pedagogical models (open and distributed learning, learning within communities), which, in turn, determine a spectrum of instructional strategies to be implemented by the learning technologies. It is implied that emerging technologies being able to support unpredicted forms of learning activities cause extension of pedagogical models. This theory-based design framework for e-learning offers a simple cycle of building learning strategies based on pedagogical models and further implementing them in technologies, which inspire transformations in models by suggesting support for new learning activities. Unlike pedagogically specific models, the framework does not explain precise mapping between the learning strategies and technologies, but it is unique in providing an opportunity for incorporating changes in time.

CONCEPTUAL FRAMEWORKS

This group of models contains descriptive models identifying some “dimensions” or “areas of interest” that could be further elaborated and introducing some concepts that still require a detailed description. These models are not related to a particular technology paradigm and are not aimed at providing sufficient information for creation of an abstract architecture of e-learning system. However, the models from this group focus on principles and concepts important to understand the desirable behavior and functions of e-learning systems.

Khan’s e-learning framework is a high-level information model inspired by the success of e-learning programs. Eight dimensions are identified as the model components within which tasks and activities for e-learning support may be determined according to the organization’s needs. The dimensions include (adapted from [15]): institutional, management, technological, pedagogical, ethical, interface, resources and evaluation. Although these dimensions are not independent, they are useful for outlining groups of closely related tasks and identifying effects of changes such as change of e-learning platform, start of a new learning program or introduction of mobile delivery [16].

Khan’s model depicts the dimensions as equal parts of an octagon which is not helpful for determining the priorities of the tasks, relations and potential information flow. For the purpose of our study we suggest extending and adapting the interpretation of the dimensions. Conceptual e-learning framework based on Khan’s model providing a “system” view on e-learning organization is shown on Figure. Main components are related to technologies (T), pedagogy (P), resources (R) and interaction (I), ordered in a way to stress the distance of the views and needs of contacts. Interaction (former interface) covers all issues related to communication between the learners, with the teacher or with the learning content. The central part is hold by management (M) as a driving mechanism that is informed by evaluation (E) taking part within the main components and at the system level. Organization (O) component is situated above to demonstrate the division between strategic tasks and tactical tasks, pertaining to the management, information flow and connection to the outer world. Regulations (L) cover legal issues, ethical norms, technical standards, and rules established within the organization thus establishing the framework of operation.

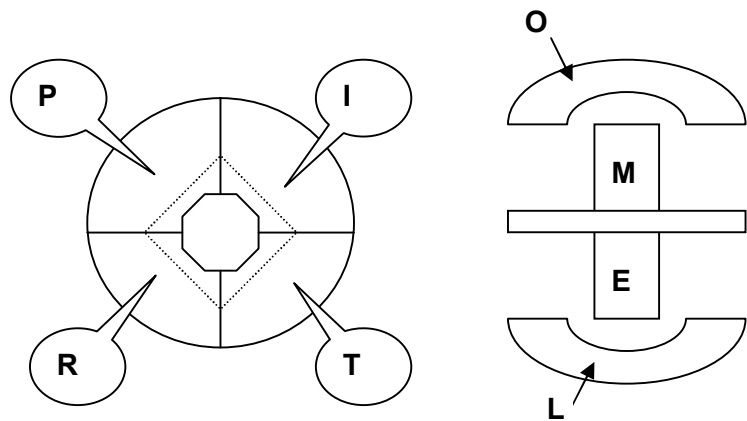


Fig. Adapted Khan’s e-learning framework

Another holistic model [17] considers e-learning as a specific information system and thus e-learning framework is arranged around its core elements — people, technologies and services. People are represented by the stakeholders groups, i.e. those who are involved in e-learning including the developers. Technologies are grouped into those dealing with content, communication and collaboration, and services are represented by e-learning activities implementing pedagogical models and learning strategies. Although based on extensive research of the e-learning implementations, technical standards and conceptual transformations within the field, the framework does not look promising for further refinement.

To summarize, the value of descriptive models is in identification of the purpose and role of e-learning, its relation to traditional learning processes and potential of life-long learning, as well as in depicting conceptual structure for e-learning framework elaboration.

REFERENCE MODELS AND ARCHITECTURES

This group of models is represented by general outlines of e-learning systems identifying some important components and information flows.

LTSA is a five-layered model detailing the information flow between particular components at each level but it is its third layer that is usually referred to by this acronym. It shows interaction among “processes” and between “processes” and “stores”, identifying specific type of communicated information. Both “learner” and “teacher” are included in the model, as well as generalized processes of “delivery” and “assessment”. Two “stores” contain learning resources and learner records respectively. This simple model summarizes a common vision of the e-learning systems as a tool for delivery of the learning content and evaluation of the learning results. A nature of its elements, such as metadata for learning resources, multimedia content, interaction context, are further explored and modeled both within and outside of its general framework. Due to its pedagogical and technological neutrality, the LTSA is widely used in various implementations and extensions to reflect adaptability of the learning content, other actors and processes, such as collaboration, content production, and management [18].

In the field of technical standards, the role of a framework is often played by an abstract architecture obtained as a generalization of a particular class of technologies which describes main components, their interconnections, behavior (functions) and other features according to the modeling purpose. An abstract architecture may serve as a reference model for comparison of different systems considered as its technical implementations. It also facilitates integration of different technologies within a system and resolution of compatibility issues based on technical standards which ensure interoperability among particular technologies as implementations of the particular components [19].

Use of standards simplify updates and upgrades of the learning delivery platforms, and extend the choice of learning content provider thus facilitating the growth of distance learning. The core model for distance learning platform is SCORM — a reference model for a particular class of e-learning systems [20]. SCORM describes interaction between a run-time environment which supports e-learning (e.g., LMS) and pre-designed sharable learning content objects combined in a learning resource (e.g., distance course). The model identifies particular processes that perform sequenc-

ing of the content objects, i.e., selection of the next learning step, based on the learner's output, tracking the learner and processing his/her assessment information, and managing learning content. SCORM model, being a part of a technical standard, is considered to be over-prescriptive by some researchers who pointed out that it is designed having a "system" view in mind.

The growing potential of the internet technologies has changed a focus in e-learning from a system-based to a service-based paradigm which is more appropriate for dynamic nature of e-learning solutions. Service-based organization of e-learning enables smooth and efficient updates of particular functions and incorporation of new features without disruption of existing e-learning [21]. Service-based architecture may be illustrated by three-tier Carnegie Mellon model featuring:

- *Infrastructure Tier* with internet and service layers, implementing basic infrastructure through common services and protocols,
- *Learning Services Tier*, comprising basic services related to identification, administration, rights management, common application layer with core learning services typical to the LMS, and tool layer for support of learning content authoring and various learning activities,
- *User Agents Tier* offering agents for design, management and delivery of e-learning.

Other service-based models follow the same idea of layering the tasks according to their possible relation to other tasks from common to specific. SUN model has a detailed account of functions and their distribution along the layers, IMS model for the enterprises and SIF model put learning services in a context of other business activities and tasks, such as financial, marketing or personnel (human resources) (see <https://www.imsglobal.org/specifications.html> for referred above and current specifications).

A reference model for online learning communities [22], inspired by a media reference model focused on information transfer and supply-demand business relations, is represented as a set of views that determine organizational, interaction, channel (service) and technological design. The model is created for campus and classroom community of organization, and is arranged around courses rather than particular goals, topics or tasks.

The models of this group are often a generalization of some software systems and therefore are closely related to the implementations in contrast to the descriptive conceptual models. However, reference models are not necessarily linked to particular technologies and provide only core information for further design and development.

LEARNER-CENTRIC MODELS

This group of models is relatively new and contains those considering a learner as a key actor or customer of the e-learning or relying on a learner-centric paradigm. Therefore, they tend to indentify the value of learning technologies for a particular individual by design or adaptation.

The research [23] is focused on a learner-centered approach and results in a model presented as a set of 14 learner-centered psychological principles describing the groups of cognitive and meta-cognitive, motivational and affective, developmental and societal, as well as individual differences factors important for

implementation of e-learning effective for each individual. An important role among educational processes belongs to the networking, collaboration and inquiry with the ultimate goal to support learning in context, anytime, anywhere. Learner-centered approach is a core of online andragogical model that describes expected features of e-learning for adult learners [24]. The model changes the role of the educator from the “director of learner” to the knowledgeable supporter, and outlines new tasks which a mature learner can perform, such as mutual planning, goal setting and self-regulation.

Learner-centric models may be intended for adaptation of learning environment to the individual needs but also to describe the learner’s vision of the instruments facilitating his/her learning. A concept of personal learning environment [25] reflects the idea of supporting the learner through a collection of tools.

To identify essential functions and components of a personal learning environment (PLE), users’ draft models have been collected [26]. Common part of all drafts is a set of tools for accessing information or knowledge sources, for communication collaboration and sharing (publishing) which are either referred to by their function or named by respective technologies. In some drafts content creation tools are also mentioned. One can see that PLE is considered as a support for informal learning and lacks management or monitoring tools as well as data collection for self-regulation.

Most drafts picture a “current situation”, i.e. present how existing technologies could be combined to support individual learning right now. They don’t take into account longevity factor or set requirements to technologies based on the learner’s needs. The tools or functions within the draft are independent and don’t exchange information either directly or through the agents, as that was the case at the time of study.

Learner’s view on the way information and knowledge may be acquired by e-learning and other ICT is important for understanding lifelong learning requirements and, despite of the above-mentioned limitations, should be incorporated in the lifelong e-learning model.

REQUIREMENTS TO LIFELONG LEARNING MODELING

A thorough analysis of e-learning models [13], including traditional instructional models, networked and collaboration learning, dialogue and conversational learning, as well as specific cases for adaptive instruction and learning objects as units of instruction, demonstrated that they cannot be easily integrated into a single framework. The detailed analysis of the most promising models in this paper demonstrated that no single model could be expanded for lifelong e-learning purposes. However, a study of the modeling approaches allows concluding that lifelong e-learning being a complex phenomenon may be adequately presented by a set of models rather than a single one. For this purpose, a set of views could be considered to present conceptual models of all stakeholders (learners, learning organizations, teachers, developers). Learner-centric model (learner’s view) is a candidate for primary model which will identify the tasks related to the learning process and types of resources involved. System’s view could be a collection of abstract architectures implementing particular tasks.

A set of views should be able to reflect the following:

- longevity of the modeling, i.e. potential changes in objects, characteristics, parameters that in other cases are considered as static;
- capability to collect data which may be useful to guide e-learning and raise its efficiency;
- maintaining a kind of learner's model or profile representing current state of competencies and capabilities of an individual;
- context of the learning, such as performance support, learning platform or environment;
- management of the e-learning processes and potential use of intelligent agents for various forms of assistance.

CONCLUSION

E-learning modeling is a valuable mechanism for communicating essential features of the systems and services in learning, education and training. Variety of the models demonstrates the complexity of the task and absence of the unified understanding of the e-learning processes, participants and components.

Lifelong learning extends the scope of subjects, objects, tools and processes that are to be included in the model and raises the level of consideration. On the one hand, it is concerned with meta-tasks, e.g. how different sources of learning experience may be purposefully combined; what effect they have on a resulting learner's competency if not coordinated; what mechanisms could be employed to reflect a learner's knowledge state using learner's data ageing due to natural forgetting and global knowledge space changes caused by science, technology and communication progress; what kind of "push" and "pull" technologies may be valuable for implementation in a personal learning assistant helping to plan and select individual learning experience. On the other, it brings attention to specific learning situations that should be accounted for, such as microlearning or learning by doing, and their potential combination with proven strategies for individual knowledge construction support.

It is expected that lifelong e-learning framework may reflect essential features of the core models through a set of views. However, the main value of the lifelong e-learning model could be not in a combination of the specific models into a common schema but rather in identification of components, tools and processes that should be implemented for intelligent and efficient lifelong learning support. Further research is needed to detail the list of requirements and coordinate it with each particular model presenting a view. It is important to study potential mechanism for coordinating views, as the learner's view alone could be considered as a task-based model, as a conceptual framework based on extended Khan's model and as an abstract architecture.

REFERENCES

1. ISO/IEC 2382-36. Information technology. Vocabulary. Information technology for learning, education and training.
2. Manako A.F., Sinita E.M. (2014) Innovative electronic research and education spaces: a view through the prism of transformations. *Educational Technology & Society*. 17 (1), 546–577 (in Russian).
3. Odabasi, F., Kuzu, A. & Gunuc, S. Characteristics of lifelong learner. In P. Resta (Ed.), *Proceedings of SITE 2012 — Society for Information Technology & Teacher Education*

- International Conference (March 5–9, 2012, Austin, Texas). Austin, Texas, 2012. P. 4037–4039.
4. Lawson M., Askill-Williams H., Murray-Harvey R. "The attributes of the lifelong learner." A report prepared for the Queensland Studies Authority. Flinders Univ. Adelaide (2006). 101 C.
5. Sandyga I.V., Manako A.F., Voychenko A.P., Sinita E.M. Lifelong learning as a factor of information society development. Proc. 5th International conference Information technologies in education for all (November 23–25, 2010, Kiev). Kiev, 2010. P. 23–25 (in Russian).
6. Vaishali Suryawanshi, Dayanand Suryawanshi, Fundamentals of E-Learning Models: A Review. Innovation in engineering science and technology (December, 2015, Maharashtra). Maharashtra, 2015. IOSR Journal of Computer Engineering (IOSR-JCE) P. 107–120.
7. Wentling T., Waight C., Gallaher J. et. al. e-learning — A Review of Literature. NCSA, Univ. Illinois, 2000, 73 p.
8. Leal J.P., & Queirós R. (2010). E-Learning Frameworks: a survey. Proceedings of International Technology, Education and Development Conference (March 8–10, 2010, Valencia). Valencia, 2010.
9. Sinita E.M. (1993) Probabilistic models for learner knowledge testing. *Intellectualization of computer-based learning technologies*. Academy of sciences of Ukraine. Glushkov Institute for cybernetics, 39–41. (in Russian).
10. Wilson S., Olivier B., Jeyes S., Powell A., & Franklin T. (2004). A technical framework to support e-learning. *JISC*.
11. Garrison D.R. (2011). *E-learning in the 21st century: A framework for research and practice*. Taylor & Francis. 2nd edition.
12. Glancy F.H., & Isenberg S.K. A Conceptual ELearning Framework. European, Mediterranean & Middle Eastern Conference on Information Systems. (May 30–31, 2011, Athens). Athens, 2011. P. 636–650.
13. Mayes T. and de Freitas S. (2004) Review of e-learning theories, frameworks and models. London: Joint Information Systems Committee.
14. Dabbagh N. (2005). Pedagogical models for E-Learning: A theory-based design framework. *International Journal of Technology in Teaching and Learning*, 1 (1), 25–44.
15. Khan B. H. (2000). A Framework for E-Learning. *Distance Education Report*, 4(24), 3–8.
16. Synytsya K. Adding mobility to the ADL language course. The International Scientific Conference eLearning and Software for Education (April 25–25, 2013, Bucharest). Bucharest, 2013. Vol 2. P. 147–152.
17. Aparicio M., Bacao F., & Oliveira T. (2016). An e-Learning Theoretical Framework. *Educational Technology & Society*, 19 (1), 292–307.
18. Ismail J. (2001). The design of an e-learning system: Beyond the hype. *The Internet and Higher Education*, 4(3), 329–336.
19. Synytsya K. (2006). Standards for Learning Technologies: Overview and Directions. *Communications of IICM*, 8(2), 5–15.
20. Wisher R., Khan B. (2010), Learning on Demand. ADL and the Future of e-Learning.
21. Dagger D., O'Connor A., Lawless S., Walsh E., & Wade V. P. (2007). Service-oriented e-learning platforms: From monolithic systems to flexible services. *Internet Computing, IEEE*, 11(3), 28–35.
22. Seufert S., Lechner U., & Stanoevska K. (2002). A reference model for online learning communities. *International journal on E-learning*, 1(1), 43–54.
23. McCombs B., & Vakili D. (2005). A learner-centered framework for e-learning. *The Teachers College Record*, 107(8), 1582–1600.
24. Livingstone D. W. (2001). Adults' informal learning: Definitions, findings, gaps and future research. WALL Working Paper No.21. 50 p.
25. Attwell G. (2007). Personal Learning Environments — the future of eLearning?. *Elearning papers*, 2(1), 1–8.

26. Milligan C.D., Beauvoir P. Johnson, M.W. Sharples, P. Wilson S. and Liber O., 2006, Developing a reference model to describe the personal learning environment. EC-TEL. LNCS (1-4 October, 2006, Crete). Crete, 2006. Vol. 4227. P. 506–511).

Received 17.09.2017

ЛИТЕРАТУРА

1. ISO/IEC 2382-36. Information technology. Vocabulary. Information technology for learning, education and training.
2. Манакo А.Ф., Синица Е.М. Инновационные электронные научно-образовательные пространства: взгляд сквозь призму трансформаций // Международный журнал "Образовательные технологии и общество" (Educational Technology & Society). — 2014. — V. 17. — № 1. — С. 546–577.
3. Odabasi, F., Kuzu, A. & Gunuc, S. Characteristics of lifelong learner. In P. Resta (Ed.), Proceedings of SITE 2012 — Society for Information Technology & Teacher Education International Conference (March 5–9, 2012, Austin, Texas). Austin, Texas, 2012. P. 4037–4039.
4. Lawson M., Askill-Williams H., Murray-Harvey R. "The attributes of the lifelong learner." A report prepared for the Queensland Studies Authority. Flinders Univ. Adelaide (2006). 101 C.
5. Сандыга И.В., Манакo А.Ф., Войченко А.П., Синица Е.М. Непрерывное обучение как фактор развития информационного общества. Материалы 5 Межд.конф. «Информационные технологии в образовании для всех» ITEA-2010. (23–25 ноября, 2010, г. Киев). Киев, 2010. С.23–25.
6. Vaishali Suryawanshi, Dayanand Suryawanshi, Fundamentals of E-Learning Models: A Review. Innovation in engineering science and technology. (December, 2015, Maharashtra). Maharashtra, 2015. IOSR Journal of Computer Engineering (IOSR-JCE) P. 107–120.
7. Wentling T., Waight C., Gallaher J. et. al. e-learning — A Review of Literature. NCSA, Univ.Illinois, 2000, 73 p.
8. Leal J.P., & Queirós R. (2010). eLearning Frameworks: a survey. Proceedings of International Technology, Education and Development Conference. (March 8–10, 2010, Valencia). Valencia, 2010.
9. Синица Е.М. Вероятностные модели тестирования знаний обучаемого / В сб.: Интеллектуализация компьютерных технологий обучения. АН Украины, Ин-т кибернетики им. Глушкова, 39–41, 1993.
10. Wilson S., Olivier B., Jeyes S., Powell A., & Franklin T. (2004). A technical framework to support e-learning. *JISC*.
11. Garrison D.R. (2011). *E-learning in the 21st century: A framework for research and practice*. Taylor & Francis. 2nd edition.
12. Glancy F.H., & Isenberg S.K. A Conceptual ELearning Framework. European, Mediterranean & Middle Eastern Conference on Information Systems. (May 30–31, 2011, Athens). Athens, 2011. P. 636–650.
13. Mayes T. and de Freitas S. (2004) Review of e-learning theories, frameworks and models. London: Joint Information Systems Committee.
14. Dabbagh N. (2005). Pedagogical models for E-Learning: A theory-based design framework. *International Journal of Technology in Teaching and Learning*, 1 (1), 25–44.
15. Khan B. H. (2000). A Framework for E-Learning. *Distance Education Report*, 4(24), 3–8.
16. Synytsya K. Adding mobility to the ADL language course. The International Scientific Conference eLearning and Software for Education (ELSE). (April 25–25, 2013, Bucharest). Bucharest, 2013. Vol 2. P. 147–152.
17. Aparicio M., Bacao F., & Oliveira T. (2016). An e-Learning Theoretical Framework. *Educational Technology & Society*, 19 (1), 292–307.
18. Ismail J. (2001). The design of an e-learning system: Beyond the hype. *The Internet and Higher Education*, 4(3), 329–336.

19. Synytsya K. (2006). Standards for Learning Technologies: Overview and Directions. *Communications of IICM*, 8(2), 5–15.
20. Wisher R., Khan B. (2010), Learning on Demand. ADL and the Future of e-Learning.
21. Dagger D., O'Connor A., Lawless S., Walsh E., & Wade V. P. (2007). Service-oriented e-learning platforms: From monolithic systems to flexible services. *Internet Computing, IEEE*, 11(3), 28–35.
22. Seufert S., Lechner U., & Stanoevska K. (2002). A reference model for online learning communities. *International journal on E-learning*, 1(1), 43–54.
23. McCombs B., & Vakili D. (2005). A learner-centered framework for e-learning. *The Teachers College Record*, 107(8), 1582–1600.
24. Livingstone D. W. (2001). Adults' informal learning: Definitions, findings, gaps and future research. WALL Working Paper No.21. 50 p.
25. Attwell G. (2007). Personal Learning Environments-the future of eLearning?. *Elearning papers*, 2(1), 1–8.
26. Milligan C.D., Beauvoir P. Johnson, M.W. Sharples, P. Wilson S. and Liber O., 2006, October. Developing a reference model to describe the personal learning environment. In *EC-TEL*. LNCS (1–4 October, 2006, Crete). Crete, 2006. Vol. 4227. P. 506–511.

Получено 17.09.2017

К.М. Синиця, канд. техн. наук, старш. наук. співроб.,
заступник директора з наукової роботи
e-mail: ksynytsya@irtc.org.ua
Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних
технологій та систем НАН України і МОН України,
пр. Акад. Глушкова, 40, м. Київ, 03187, Україна

АНАЛІЗ МОДЕЛЕЙ ЕЛЕКТРОННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ НЕПЕРЕРВНОГО НАВЧАННЯ

Наведено коротку характеристику моделей електронного навчання та визначено основні групи, на базі яких є можливим створення моделі неперервного електронного навчання. Розглянуто специфічні характеристики неперервного навчання, які визначають вимоги до такої моделі. Показано, що така модель має містити кілька проєкцій, які відображають точку зору учня, розробника, постачальника навчальних послуг, системи освіти в цілому, бути технологічно і педагогічно нейтральною та враховувати проблеми керування, пов'язані зі змінами умов та мети навчання.

Запропоновано розвиток моделі Хана для відображення процесу неперервного навчання, що полягає у розширенні та адаптуванні інтерпретації компонентів цієї моделі за рахунок визначення їх призначення в умовах особистісно-орієнтованого моделювання, а також формування структури їх взаємодії. Зазначено, що головна мета моделі неперервного навчання в електронній освіті полягатиме не тільки у поєднанні часткових моделей в загальній схемі, а і в ідентифікації компонентів, інструментів і процесів, які слід запровадити для інтелектуальної та ефективної підтримки навчання протягом усього життя.

Ключові слова: електронне навчання, неперервне навчання, структурна модель е-навчання, еталонна модель, вимоги до моделі е-навчання.

Е.М. Синица, канд. техн. наук, старш. науч. сотр.
заместитель директора по научной работе
e-mail: ksynytsya@irtc.org.ua

Международный научно-учебный центр информационных
технологий и систем НАН Украины и МОН Украины,
пр. Акад. Глушкова, 40, г. Киев, 03187, Украина

АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ НЕПРЕРЫВНОГО ОБУЧЕНИЯ

Дана краткая характеристика моделей электронного обучения и выделены основные группы, на базе которых может быть создана модель электронного обучения на протяжении жизни. Рассмотрены специфические черты непрерывного обучения, определяющие требования к такой модели. Показано, что такая модель должна содержать несколько проекций, отображающих видение обучаемого, разработчика, поставщика учебных услуг, системы образования в целом, быть технологически и педагогически нейтральной и учитывать задачи управления, связанные с изменением условий и целей обучения.

Предложена модификация модели Хана для отображения процесса непрерывного обучения, которая заключается в расширении и адаптации интерпретации компонентов этой модели за счет определения их предназначения при индивидуально-ориентированном моделировании и формировании структуры их взаимодействия. Отмечено, что основная цель модели непрерывного обучения в электронном образовании заключается не только в интеграции частичных моделей в общей схеме, а и в идентификации компонентов, инструментов и процессов, необходимых для реализации интеллектуальной и эффективной поддержки обучения на протяжении всей жизни.

Ключевые слова: электронное обучение, непрерывное обучение, структурная модель е-обучения, эталонная модель, требования к модели е-обучения.

DOI: <https://doi.org/10.15407/kvt190.04.033>

UDC 629.7.05; 681.518.3

S.V. MELNYCHUK, PhD (Engineering),
Researcher of Dynamic Systems Control Department
e-mail: sergvik@ukr.net

V.F. GUBAREV, Dr (Engineering), Professor,
Corresponding Member of NAS of Ukraine,
Head of Dynamic Systems Control Department
e-mail: v.f.gubarev@gmail.com

N.N. SALNIKOV, PhD (Engineering),
Senior Researcher of Dynamic Systems Control Department
e-mail: salnikov.nikolai@gmail.com
Space Research Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine
and State Space Agency of Ukraine,
Acad. Glushkov av. 40, 4/1, 03187, Kyiv 187, Ukraine

USING INFORMATION FEATURES IN COMPUTER VISION FOR 3D POSE ESTIMATION IN SPACE

Introduction. *Autonomous rendezvous and docking is an important technological capability that enables various spacecraft missions. It requires the real-time relative pose estimation i.e. determination of the position and attitude of a target object relative to a chaser. The usage of techniques based on optical measurement has certain advantages at close range phases of docking.*

The purpose of the paper is to create a computer vision system, that estimates position and attitude of the target relative to the chaser. To develop the design of a computer vision system and suited mathematical methods. To use a new learning-based method, which can be implemented for the real-time execution with limited computing power.

Methods. *A non-standard approach to solving the problem was used. A combination of image processing techniques, machine learning, decision trees and piecewise linear approximation of functions were used. The tool of informative features computed by images was essentially used.*

Results. *A two-stage algorithm, which involves training the computer vision system to recognize the attitude and position of the target in a changing lighting environment was developed. The calculation of the camera parameters was carried out to ensure a given accuracy of the solution of the problem.*

Conclusion. *It was shown that the informative features can be used to create a high-performance on-board system for estimating relative attitude and position. Implementation of the proposed algorithm allows to create a competitive device for docking in space.*

© S.V. MELNYCHUK, V.F. GUBAREV, N.N. SALNIKOV, 2017

ISSN 2519-2205 (Online), ISSN 0454-9910 (Print). Киб. и выч. техн. 2017. № 4 (190)

Keywords: *autonomous rendezvous, uncooperative pose estimation, model-based pose estimation, vision-based pose estimation, computer vision, decision tree, linear approximation, informative features, image processing, machine learning, identification, relative position and attitude estimation.*

INTRODUCTION

At present, the tasks of servicing space satellites during the whole life cycle, including maintaining and changing the orbit parameters of working and dead vehicles and objects, acquire particular urgency [1].

The most promising are the transportation tasks. These include the transportation of incorrectly orbiting spacecraft to the calculated orbits, the correction of orbits, the maneuvers to avoid collisions with space debris, and others. Another current task is a removal of space debris, including on the geostationary orbit.

A possible way to solve these problems is to create a service system using a special transport service space vehicle, designed for docking and moving target orbital objects. The creation of such a system leads to the need of solving a number of problems, one of which is related to the automatic control of the process of rendezvous and docking.

Potential target objects, with which it will be necessary to make docking, generally belong to the class of non-cooperated space objects, i.e. such that were not designed for docking and, accordingly, are not equipped with special elements (docking nodes, corner reflectors, etc.) used in existing docking systems. This fact significantly complicates the problem.

The most important stage in the work of the service system is the process of approachment and docking. To perform maneuvering in the automatic mode, it is necessary to solve the problem of high-precision determination of the parameters of the relative position and attitude on the basis of on-board measurements.

In this paper, we consider the solution of the problem of pose determining using the computer vision system (CVS). The solution is based on comparing the images obtained by the on-board video camera with the known three-dimensional graphic model of the target object preloaded into the on-board memory. To ensure the necessary system performance in conditions of limited power and memory capacity of the on-board computer complex, a standard approach for this task was not used. The new method based on learning has been applied. The transition from images to informative features, which represent a set of functions defined on a two-dimensional array of pixels of the image is used. The correlation between the requirements for the accuracy of determining the pose parameters and the characteristics of the camera is also considered.

PROBLEM STATEMENT

Preliminaries. The problem of autonomous rendezvous and docking in space is considered. Active spacecraft (chaser) maneuvers and approaches to the passive spacecraft (target) in automatic mode. The operation of the control system requires measuring of the pose (i.e. attitude and position) of the target relative to the chaser.

Over long distances to the target the measurement is made by radio wave equipment, which isn't covered in this paper. As the distance decreases, the

required pose estimation accuracy increases. This forces to use more precise measuring instruments that operate in the shorter wavelength range. At the final stage of rendezvous the infrared or optical vision-based systems can be used.

Vision-based pose estimation problem was considered in different formulations [2, 3]. This paper presents the design of an on-board computer vision system that performs high precision pose estimating of target under the following conditions:

- the target is an uncooperative spacecraft, i.e. it is not equipped with known markers (uncooperative pose estimation);
- three-dimensional CAD model of the target is given (model-based pose estimation);
- single optical sensor is used.

The CVS consists of a measuring device (digital video camera) and a computing unit. The camcorder is rigidly fixed to the body of the chaser and shoots at a rate of ten frames per second. In the memory of the computing unit a 3D CAD model of the target is stored.

The purpose of the CVS is to calculate the position and attitude of the target relative to the video camera from a distance of about 30 meters and until the docking. Assuming that the camera position on the body of the chaser is known exactly, the relative pose of the target and chaser can be calculated.

Pose estimation problem. In the field of view (FOV) of the camera the only target spacecraft is located. It's a three-dimensional body whose shape is given and stored in the CVS memory in a CAD file. The target is illuminated by one or more light sources whose location and characteristics are unknown.

We introduce a camera-fixed and a target-based coordinate systems. The reference frame $O_1x_1y_1z_1$ has an origin in a projection center. Vector x_1 coincides with the optical axis of the camera. Vectors y_1 and z_1 are parallel to the image plane and correspond to the "up" and "right" directions on the resulting image. The reference frame $O_2x_2y_2z_2$ is associated with the target, in which its CAD model is defined (Fig. 1).

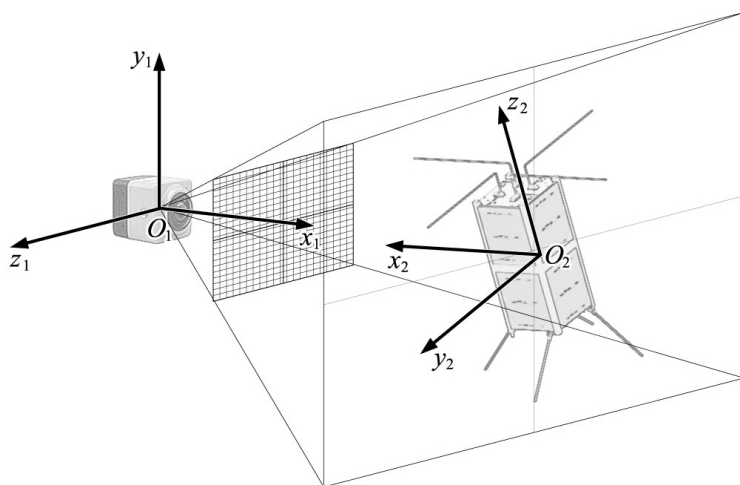


Fig. 1. Camera, target and associated reference frames

The relative pose estimation consists in finding the vector $r_{21} = O_2 - O_1 = (x, y, z)^T$ and coordinates of the basis vectors of one reference frame relative to another. Unit vectors $e_2^i, i = \overline{1, 3}$ in coordinates of frame $e_1^i, i = \overline{1, 3}$ forms columns of rotation matrix $T_{21} = (t_{21}^{ij}) = ((e_2^j, e_1^i))$, where (e_2^j, e_1^i) is the scalar product of vectors e_2^j and e_1^i .

The matrix $T_{21} \in R^{3 \times 3}$ is orthogonal and can be uniquely determined by a smaller number of parameters. We will use the Euler angles: pitch ϑ , yaw ψ and roll γ . For the sequence of "pitch-yaw-roll" elemental rotations it has the form

$$T_{21} = T_3^T(\vartheta)T_2^T(\psi)T_1^T(\gamma), \quad (1)$$

$$\text{where} \quad T_1(\varphi) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \varphi & \sin \varphi \\ 0 & -\sin \varphi & \cos \varphi \end{pmatrix}, \quad T_2(\varphi) = \begin{pmatrix} \cos \varphi & 0 & -\sin \varphi \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \varphi & 0 & \cos \varphi \end{pmatrix} \quad \text{and}$$

$$T_3(\varphi) = \begin{pmatrix} \cos \varphi & \sin \varphi & 0 \\ -\sin \varphi & \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

So, the problem solution consists of the vector $r_{21} = (x, y, z)^T$ and the Euler angles ϑ, ψ, γ . We reduce the required quantities to a pose vector $p = (x, y, z, \vartheta, \psi, \gamma)^T$, that consists of position and attitude parameters.

Initial data. Vector p must be calculated from three components of input data: a captured picture with an image of target, a three-dimensional CAD model of the target, and a mathematical model of a camera, that describes geometric transformations performed by an optical system.

The digital picture is formed on a rectangular photosensitive matrix of size $W \times H$, where W and H denote width and height in pixels. Picture is mapped into RAM as two-dimensional array, each element of which stores the brightness of one pixel.

The CAD model of target object describes the geometry of the surface as an approximation by a set of polygons, usually triangles. It can be stored in a file of any existing format. In the RAM this file is expanded into two data arrays:

- an array of vertices (vertex coordinates relative to reference frame $O_2x_2y_2z_2$);
- an array of indices (specifying the order of vertices for constructing polygons).

To combine the useful information contained in the captured picture and the stored CAD model, it is necessary to know the transformation of 3D object into 2D image, i.e. know the characteristics of the optical system, the distortions, the physical linear dimensions of the photosensitive matrix, etc. As a model of the camera, we will consider the model of the perspective projection (or pin-hole camera) shown in Fig. 2.

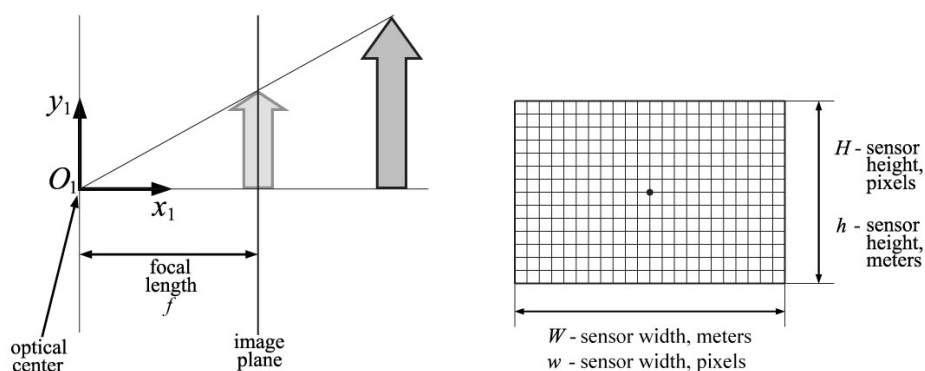


Fig. 2. Pin-hole camera model

We will assume that the perpendicular dropped from the point O_1 to the image plane passes through the center of the picture. Parameters of the pin-hole model are the focal length f , width w and height h of the sensor matrix, and its size in pixels W and H .

Requirements for solution. At each measure, the target is photographed. It is assumed that the geometry of target doesn't change over time and corresponds to a CAD model.

Parameters of the pin-hole camera model are considered known constants. On the basis of these data the vector p is estimated and passed to a control system. The scheme of the CVS functioning is shown in Fig. 3.

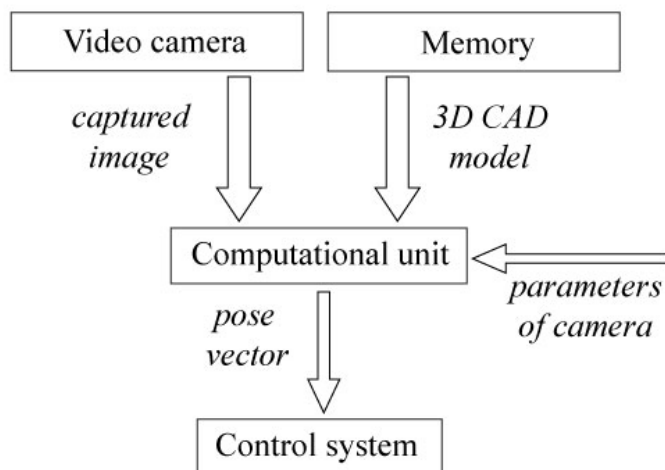


Fig. 3. CVS scheme

Table 1. Technical requirements

Name	Value
Distance range, m	0–30
Bounds for yaw and pitch angles, deg	$\pm 15^0 / \pm 30^0$
Bounds for roll angle, deg	$\pm 15^0$
Position estimation maximum error, m	$\pm 0,01$
Attitude estimation maximum error, deg	$\pm (0,15 + 0,02\alpha)^0$

The search for vector p is carried out not in the entire six-dimensional space, but in a bounded set P within which maneuvers of chaser will be performed. The size of P and the requirements for the accuracy of the solution are given in Table 1.

When the chaser is maneuvering at a small distance from the target, there is a risk of collision. Therefore, additional requirements are imposed to performance: CVS must provide a definition of the pose vector with a period of 0.1 sec.

DETERMINING CAMERA CHARACTERISTICS

Designing the CVS includes the selection of components, which can ensure the principle solvability of the problem and satisfy the requirements for the solution. The measuring instrument that limits the potentially achievable accuracy is a video camera.

A single measurement is a picture. It is discretized due to the discrete structure of the sensor matrix. On the plane of picture, a position of an object can be measured with pixel precision. We will assume that the images are distinguishable, if they differ in the position of the objects depicted on them at least by 1 pixel.

In another case it is not possible to distinguish the corresponding vectors p . Hence, the vector p can be determined with finite accuracy. Having a mathematical model of the camera, it is possible to establish the potentially achievable accuracy of the problem solution. We will define the pin-hole model parameters $c = \{f, w, h, W, H\}$, which allow distinguishing the images for different vectors p , which differ by a value of resolution required.

Consider a point on the surface of the CAD model and find out how much its image is shifted during small rotations and translations of the target relative to the camera. To do this, we write out in an explicit form the transformation of the 3D coordinates into the 2D coordinates in pixels.

The coordinate of the point is given by the vector $(x, y, z)^T$ in the reference frame $O_2x_2y_2z_2$. From (1) we obtain the coordinates in the frame $O_1x_1y_1z_1$

$$\begin{pmatrix} \tilde{x} \\ \tilde{y} \\ \tilde{z} \end{pmatrix} = T_{21} \cdot \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} r_x \\ r_y \\ r_z \end{pmatrix}. \quad (2)$$

On the image plane another coordinate system is given. Its origin lies in the lower left corner of the image. Axis t is directed to "right" and s — to "up". Vector x_1 is perpendicular to the image plane, y_1 is parallel to s and z_1 is parallel to t .

Perspective projection of a point $(\tilde{x}, \tilde{y}, \tilde{z})^T$ on the image plane gives its image on a picture. Points $(\cdot, 0, 0)^T$ are projected to the center of picture. The coordinates (in pixels) of the point under consideration (2) take the form

$$\begin{pmatrix} t \\ s \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{\tilde{z}}{\tilde{x}} \cdot k_w + \frac{W}{2} \\ \frac{\tilde{z}}{\tilde{y}} \cdot k_h + \frac{H}{2} \end{pmatrix}, \quad k_w = \frac{f}{w} W, \quad k_h = \frac{f}{h} H. \quad (3)$$

The ratios f/w , f/h determine the camera's field of view along the horizontal and vertical. They are the scaling factors when converting from meters to pixels. We fix f, w, h and calculate W and H , based on the accuracy requirements (Table 1).

Consider the change of the image coordinates (3) caused by a slight change of position (x, y, z) and attitude $(\vartheta, \psi, \gamma)$ in the vicinity of the pose vector

$$p : \vartheta = \psi = \gamma = 0, \quad r_x > 0, \quad r_y = r_z = 0. \quad (4)$$

The selected value of p corresponds to the location of O_2 exactly in front of the camera at some fixed distance r_x . For simplicity, we assume the vertical and horizontal resolution of the camera is the same

$$h = w, \quad H = W, \quad k_h = k_w = k = \frac{f}{w} W. \quad (5)$$

Assume the camera can capture a square with a side of 1 m from a distance of 1 m, so $k = W$ and horizontal and vertical field of view are equal to $2 \arctg \frac{0.5}{1} \approx 53^\circ$.

Let's consider a rotation only by the roll angle γ . From (1–5) we obtain the shift of image position of a point, measured in pixels

$$\begin{pmatrix} t \\ s \end{pmatrix}_\gamma - \begin{pmatrix} t \\ s \end{pmatrix}_0 = \begin{pmatrix} \frac{y \sin \gamma + z \cos \gamma}{x + r_x} \cdot k + \frac{W}{2} \\ \frac{y \cos \gamma - z \sin \gamma}{x + r_x} \cdot k + \frac{H}{2} \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \frac{z}{x + r_x} \cdot k + \frac{W}{2} \\ \frac{y}{x + r_x} \cdot k + \frac{H}{2} \end{pmatrix}. \quad (6)$$

We substitute the value $k = W$ and denote the shift by the vector $(\Delta t, \Delta s)^T$

$$\begin{pmatrix} \Delta t \\ \Delta s \end{pmatrix}_{\Delta \gamma} = \begin{pmatrix} y \sin \gamma + z (\cos \gamma - 1) \\ y (\cos \gamma - 1) - z \sin \gamma \end{pmatrix} \frac{W}{x + r_x}. \quad (7)$$

Similarly, we get the shift for small rotations ϑ and ψ

$$\begin{aligned} \begin{pmatrix} \Delta t \\ \Delta s \end{pmatrix}_{\Delta\psi} &= \begin{pmatrix} \frac{-x \sin \psi + z \cos \psi}{x \cos \psi + z \sin \psi + r_x} - \frac{z}{x + r_x} & \frac{y}{x + r_x} \\ \frac{y}{x \cos \psi + z \sin \psi + r_x} - \frac{y}{x + r_x} & \frac{z}{x + r_x} \end{pmatrix} W, \\ \begin{pmatrix} \Delta t \\ \Delta s \end{pmatrix}_{\Delta\vartheta} &= \begin{pmatrix} \frac{z}{x \cos \vartheta - y \sin \vartheta + r_x} - \frac{z}{x + r_x} & \frac{y}{x + r_x} \\ \frac{x \sin \vartheta + y \cos \vartheta}{x \cos \vartheta - y \sin \vartheta + r_x} - \frac{y}{x + r_x} & \frac{z}{x + r_x} \end{pmatrix} W, \end{aligned} \quad (8)$$

and translations along axes x_1, y_1, z_1 on $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ respectively

$$\begin{pmatrix} \Delta t \\ \Delta s \end{pmatrix}_{\Delta x} = \begin{pmatrix} \frac{z}{x + r_x + \Delta x} - \frac{z}{x + r_x} & \frac{y}{x + r_x + \Delta x} - \frac{y}{x + r_x} \\ \frac{y}{x + r_x + \Delta x} - \frac{y}{x + r_x} & \frac{z}{x + r_x + \Delta x} - \frac{z}{x + r_x} \end{pmatrix} W = \begin{pmatrix} -z \\ -y \end{pmatrix} \frac{\Delta x W}{(x + r_x + \Delta x)(x + r_x)}, \quad (9)$$

$$\begin{pmatrix} \Delta t \\ \Delta s \end{pmatrix}_{\Delta y} = \begin{pmatrix} 0 \\ \Delta y \end{pmatrix} \frac{W}{x + r_x}, \quad \begin{pmatrix} \Delta t \\ \Delta s \end{pmatrix}_{\Delta z} = \begin{pmatrix} \Delta z \\ 0 \end{pmatrix} \frac{W}{x + r_x}. \quad (10)$$

The obtained expressions (7) – (10) characterize the sensitivity of the image to changes of the attitude and position of the target. Minimally measurable change of p corresponds to a shift by one pixel vertically or horizontally. We will find the minimum value of W that satisfies the condition $(\Delta t \geq 1) \vee (\Delta s \geq 1)$.

It follows from (7)–(10) that the sensitivity of the image depends on the distance r_x between the camera and the target. When $x + r_x$ increases, the sensitivity to the change of r_x (i.e. distance) decreases quadratically, and of r_y and r_z (i.e., the parallel lateral shift relative to the camera) decreases linearly. For rotations the dependencies are more complex, so they should be investigated numerically. The sensitivity to the change of attitude and the coordinate r_x also depends on the size of the target body.

As a target, consider a cube with a side of two meters. Let the point O_2 coincide with the center of the cube. The relative pose of the target is determined by the values (4). We choose a vertex with coordinates $(-1, 1, 1)$ in the reference frame $O_2 x_2 y_2 z_2$, which lies on the face closest to the camera. Consider 3 variants of the distance to the surface of the object: $r_x + x = 2, 5$ and 10 meters. Table 2 shows the shift of the vertex image when the orientation angles are changed by 0.15° and position (along axes of $O_1 x_1 y_1 z_1$) are changed by 0.01 meter. The minimum value of the photosensitive matrix resolution W is determined from the condition that these shifts are equal to one pixel.

Table 2. Camera sensitivity to pose vector changes

Distance r_x , m	Distance to surface $r_x + x$, m	Variable	Image shift, pixels	Minimum value of W , pixels
3	2	γ, ψ, ϑ	$1.3 \cdot 10^{-3} W$	770
		Δx	$2.5 \cdot 10^{-3} W$	400
		$\Delta y, \Delta z$	$5.0 \cdot 10^{-3} W$	200
6	5	γ	$5.2 \cdot 10^{-4} W$	1920
		ψ, ϑ	$4.1 \cdot 10^{-4} W$	2410
		Δx	$4.0 \cdot 10^{-4} W$	2500
		$\Delta y, \Delta z$	$2.0 \cdot 10^{-3} W$	500
11	10	γ	$2.6 \cdot 10^{-4} W$	3850
		ψ, ϑ	$2.3 \cdot 10^{-4} W$	4280
		Δx	$1.0 \cdot 10^{-4} W$	10000
		$\Delta y, \Delta z$	$1.0 \cdot 10^{-3} W$	1000

The shift of the image during the small rotation of the target will be significantly influenced by the shape of its body and the position of O_2 . So, for a very elongated object by the axis x_1 , the image will be more sensitive to a change of pitch and yaw angles.

The estimates of the necessary sensor resolution shown in Table 2 were computed for a special camera FOV and a special model target. For the target of another size and shape the value W will differ. Nevertheless, we can draw the following conclusions:

- the accuracy of determining y and z is the best (linear decrease with distance);
- the accuracy of determining x is the worst (quadratic decrease with distance);
- the accuracy of determining γ, ψ, ϑ strongly depends on the target shape (linear decrease with distance).

METHOD OF SOLVING

Relations between variables. The CVS defines the pose vector $p = (x, y, z, \vartheta, \psi, \gamma)^T$ based on the captured images, the CAD model of target, and the mathematical model of the camera. It is necessary to establish how the initial data and the unknown quantities are related.

The captured image a is an $W \times H$ array of pixel brightness. This image is completely determined by the set of values and factors shown in Fig. 4.

Formation of image is influenced by the known and unknown quantities. According to the problem statement the position of the Sun and other sources of illumination are unknown.

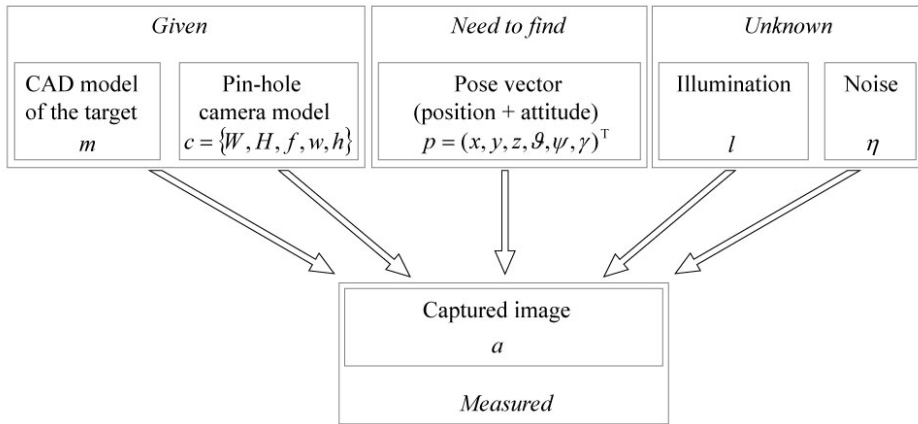


Fig. 4. Formation of image

In addition, the image is subject to the influence of many other factors, which due to their random nature are considered as noise. These include, for example, other objects in the FOV, noise of measurements caused by the action of high-energy particles and radiation, round-off errors etc. Dependence of the image on the listed factors can be written formally as a function

$$a = f(m, c, p, l, \eta), \quad (11)$$

where m denotes a given CAD model, c — parameters of the pin-hole camera, l — characteristics of the main light sources, η — noise of various kinds. We will take m and c parameters out of consideration, since they do not change in time. Then (11) takes the form

$$a = f(p, l, \eta). \quad (12)$$

We introduce the notation for the sets to which the quantities in (12) belong. According to Table. 1 the solution of the problem is in a limited set

$$p \in P \subset R^6, \quad (13)$$

$$P = \{(x, y, z, \vartheta, \psi, \gamma) : \underline{x} \leq x \leq \bar{x}, \underline{y} \leq y \leq \bar{y}, \underline{z} \leq z \leq \bar{z}, \underline{\vartheta} \leq \vartheta \leq \bar{\vartheta}, \underline{\psi} \leq \psi \leq \bar{\psi}, \underline{\gamma} \leq \gamma \leq \bar{\gamma}\}.$$

The problem of finding p by the image a is not always solvable. So, in the absence of illumination, an image a does not contain the necessary information. Therefore, it is assumed that unknown illumination l and noise η belong to certain bounded sets, which correspond to the CVS operating mode

$$l \in L, \quad \eta \in N, \quad (14)$$

where L is the set of admissible illuminations, and N is the set of permissible noises. The image a is uniquely defined on the set $P \oplus L \oplus N$. Denote the set of admissible images

$$a \in A \subset R^{WH}. \quad (15)$$

The presence of unknown illumination l and noise η in (12) does not allow to obtain a direct functional dependence of the image only on the pose vector p . To each p there corresponds a set of images $[a] \subset A$ generated by all possible realizations of l and η .

Suppose that there exists a function g defined on a set of images and acting in a vector space R^N that is insensitive to l and η

$$g: R^{WH} \rightarrow R^N$$

$$\forall p \in P, \forall l_1, l_2 \in L, \forall \eta_1, \eta_2 \in N: \begin{matrix} a_1 = f(p, l_1, \eta_1) \\ a_2 = f(p, l_2, \eta_2) \end{matrix} \Rightarrow g(a_1) = g(a_2), \quad (16)$$

that performs a certain transformation, including filtering noise and illumination. We apply the function g to both sides of (12) and denote

$$g(a) = \tilde{a}, \quad h(p) = (g \circ f)(p, l, \eta).$$

Then

$$\tilde{a} = h(p). \quad (17)$$

A function h is a mapping P into a set $\tilde{A} \subset R^N$. Suppose that $h: P \rightarrow \tilde{A}$ is injective and continuously differentiable, and each $p \in P$ corresponds to a single $\tilde{a} \in \tilde{A}$. It follows from the assumptions that different vectors $p_1 \neq p_2$ correspond to different vectors $\tilde{a}_1 \neq \tilde{a}_2$.

Suppose that $\tilde{a}_1 = h(p_1)$ and $\tilde{a}_2 = h(p_2)$. If $\tilde{a}_1 = \tilde{a}_2$ from the injectivity follows $p_1 = p_2$. This property gives a unique solvability of the problem of determining p from a given $\tilde{a} = g(a)$. It can be shown that this property is satisfied if the target body does not have symmetry.

It is known [4] that under the condition that the Jacobian $\det[\partial h(\hat{p})/\partial p] \neq 0$ for some point $p = \hat{p}$, in the neighborhood of this point an inverse function exists

$$p = h^{-1}(\tilde{a}). \quad (18)$$

However, in the general case it is not possible to obtain an analytic expression for the function h^{-1} . In Fig. 5 the mappings of the sets is shown.

It is impossible to find f in an analytical form, but it can be specified by defining a computational algorithm. By the given CAD model of target, mathematical model of the camera, pose vector $\hat{p} \in P$ and illumination $\hat{l} \in L$, it is possible to calculate a synthetic image $\hat{a} \in A$ that will be formed on the sensor of camera in the absence of noise η . The assignment of f and g in the form of calculation algorithms allows to do this for the function h , but doesn't allow to find the calculation algorithm for h^{-1} , so we can not calculate p directly from image $p = h^{-1}(g(a))$.

Local solution. We consider the problem in a small local subdomain of P . Using the assumption of continuous differentiability of the function h , equation

(17) can be represented by an expansion in a Taylor series in a neighborhood of some point \hat{p}

$$\tilde{a} + \Delta\tilde{a} = h(\hat{p}) + (\partial h(p)/\partial p)|_{p=\hat{p}} \cdot \Delta p + o\|\Delta p\|, \quad (19)$$

where $\Delta p = p - \hat{p}$, $\Delta\tilde{a} = h(p) - h(\hat{p})$. The Jacobi matrix $\partial h(p)/\partial p = [\partial h_i(p)/\partial p_j]$ of the mapping (17) must have rank 6, i.e. the columns of this matrix must be linearly independent. Otherwise, the problem will not have a unique solution in the neighborhood of \hat{p} , since there will be different Δp_1 and Δp_2 which will correspond $\Delta\tilde{a}_1 = \Delta\tilde{a}_2$. Since $\tilde{a} = h(\hat{p})$ from (19) follows

$$\Delta\tilde{a} = (\partial h(p)/\partial p)|_{p=\hat{p}} \cdot \Delta p + o\|\Delta p\|, \quad (20)$$

and the local dimension of the set of \tilde{a} is equal to 6. This means that for the problem solvability in a small neighborhood of some \hat{p} , the dimension of the vectors \tilde{a} must not be less than 6.

General approach. Most of the existing solutions are reduced to the model-to-image registration problem, which consists in detection of special feature points on the images and their matching [5–7]. In the developed CVS, a different approach is used. This is a kind of learning-based methods and consists in identification of mapping h^{-1} . The solution of the problem consists of:

- constructing a function g that ensures existence of h^{-1} on the set \tilde{A} ,
- identifying the function h^{-1} .

First we consider the identification problem, and then the choice of the function g . To obtain the training sample for identification of h^{-1} , it is necessary to construct synthetic images and compare them with real ones.

Let the pose vector $\hat{p} \in P$ and the illumination $\hat{l} \in L$ be given. The calculated image $a_s = f(\hat{p}, \hat{l}, 0)$ will differ from the real one $a_r = f(\hat{p}, l_r, \eta_r)$ due to the illumination and noise. Applying the function g gives an equality $\tilde{a}_s = g(a_s) = g(a_r) = \tilde{a}_r$. Thus, by comparing \tilde{a}_s and \tilde{a}_r , the coincidences of corresponding vectors p can be verified. If we define a functional $J: R^N \rightarrow R$ on a set \tilde{A} , that $J(\tilde{a} - \tilde{a}^*) \xrightarrow{\tilde{a} \rightarrow \tilde{a}^*} 0$, then for any pair of elements $\tilde{a}_1 = h(p_1), \tilde{a}_2 = h(p_2)$ it becomes possible to estimate the difference between p_1 and p_2 .

We cover the set P with a grid of discrete values

$$p_{rstijk} = (x_r, y_s, z_t, \vartheta_i, \psi_j, \gamma_k), \quad (21)$$

$$r = 1, n_1, s = 1, n_2, t = 1, n_3, i = 1, n_4, j = 1, n_5, k = 1, n_6$$

with a sufficiently small step: Δd for the coordinates and $\Delta\alpha$ for the angles corresponding to the required accuracy of solution (Table 1). For each grid node, using the CAD model, we build a synthetic image \hat{a}_{rstijk} and calculate $\tilde{a}_{rstijk} = g(\hat{a}_{rstijk})$.

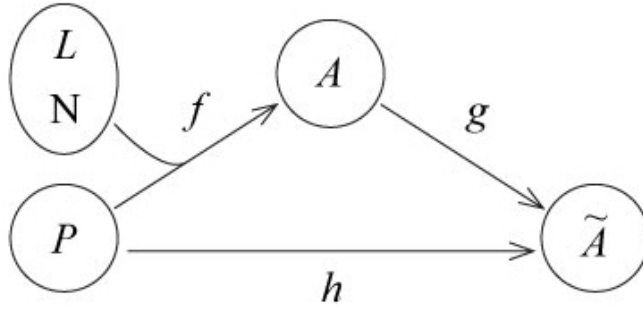


Fig. 5. Mapping scheme

Captured by camera the real image $a^* = f(p^*, l^*, \eta^*)$ is used to calculate $\tilde{a}^* = g(a^*)$. Then \tilde{a}^* is compared by some selected criterion J with nodes \tilde{a}_{rstijk} . As a result, we can define a grid node (with parameters $\hat{x}, \hat{y}, \hat{z}$ and $\hat{\theta}, \hat{\psi}, \hat{\gamma}$), for which the synthetic image best coincides with the real. These values will differ from the true parameters x^*, y^*, z^* and $\theta^*, \psi^*, \gamma^*$ not more than by the step size between the nodes, i.e.

$$\begin{aligned} |\hat{x} - x^*| &\leq \Delta d, |\hat{y} - y^*| \leq \Delta d, |\hat{z} - z^*| \leq \Delta d, \\ |\hat{\theta} - \theta^*| &\leq \Delta \alpha, |\hat{\psi} - \psi^*| \leq \Delta \alpha, |\hat{\gamma} - \gamma^*| \leq \Delta \alpha \end{aligned} \quad (22)$$

Immediate implementation of this approach is impossible because of the very large number of nodes. To meet the requirements (Table 1) it is necessary to use 10^{16} nodes. The number of nodes can be reduced by increasing the length of the grid step. Then, to obtain the required accuracy, it will not be sufficient to find the nearest node. The solution algorithm is divided into two stages.

At the first stage, the first approximation is performed. It consists in finding the optimal node on a large-scale grid. Due to the large number of nodes in the grid, instead of a full search, more efficient methods should be used, for example, decision trees. To reduce the amount of computing performed in real time, the node values and auxiliary data must be calculated in advance.

At the second stage, the solution is refined and the required accuracy is achieved. For this, optimization by criterion J can be used. An alternative is to construct an analytical approximation for a function h^{-1} in a local domain centered at the grid node. This method is preferable, since the calculation for each grid node can be carried out in advance on the basis of synthesized images.

Consider an approximation of h^{-1} in the local subdomain of node $\hat{p} \in P$. The function $h^{-1} : R^N \rightarrow R^6$ is non-linear and is determined by the target shape, the point \hat{p} and the function g . For different p from a subdomain the corresponding synthetic images a and vectors \tilde{a} are calculated. The obtained set of pairs $\langle p, \tilde{a} \rangle$ is used to construct a linear approximation of the function h^{-1} .

This approach is equivalent to piecewise linear approximation of h^{-1} on the whole \tilde{A} . The use of linear approximation is advisable for the following reasons. Firstly, all the quantities \tilde{a} are approximate. Accordingly, it is impossible to build a complex high-precision model based on noisy data, since the problem of identifying the parameters of such a model will become incorrect. Secondly, since the dimension can not be less than 6, more complex models will have a much larger number of parameters, taking up more space in the memory during storage.

The described algorithm puts forward a number of requirements for the function g :

- all grid nodes p_{rstijk} must have distinct values \tilde{a}_{rstijk} . Moreover, they must differ so much that it is possible to construct a fast search system;
- on set \tilde{A} must be defined a computationally simple criterion J for comparing its elements;
- the dimension of space \tilde{A} should be as small as possible. This is necessary to reduce the amount of memory required to store grid nodes;
- the calculation of \tilde{a} by the image should be performed as quickly as possible.

INFORMATIVE FEATURES OF IMAGES

Informative features. In a variety of areas dealing with the signal processing, procedures are used to extract from them certain values — the informative features (IF) that quantify useful information. The measured input information is often presented in a form not suitable for the immediate usage. For CVS, the captured image contains a large amount of redundant data. The transition to more compact structures that retain all the necessary information is performed by the function $g: A \rightarrow \tilde{A}$.

For working with images, IF are used in such areas as artificial intelligence and robotics in tasks of image processing, search by content, pattern recognition and classification. The used IF are divided [8] into several categories: the features of color, the features of texture and the features of form. We discover them for applicability as a function g .

The IFs of color include different integral characteristics, calculated from the brightness of all pixels. The brightness is considered as a random variable, and the IF represented in the form of histograms or statistical characteristics of the its distribution. The use of such IF is appropriate when comparing images of equal illumination. In the problem under consideration, this does not hold. The distribution of the brightness will depend substantially on the illumination $l \in L$ and it will not be possible to fulfill condition (16).

Textural IF are used to isolate such image characteristics that describe the general properties of local features and repetitive structures. The image is splitted on local areas and each of them is characterized by a certain vector value. These values, collected from all local areas, are used for calculating the integral characteristics: histograms, distribution parameters, expansion coefficients. Compared to the IF of color, texture IFs are more resistant to changing of illumination. As integral characteristics, texture IFs are weakly

sensitive to changes in the position and attitude of the target. High-precision pose determination with them is not possible.

IF of the form are characteristics describing the shape of the boundaries or homogeneous areas of the image. The IFs related to this group can be constructed to be non-invariant to a shift, rotation and scale, so that they will be weakly sensitive to variations of illumination and are highly sensitive to change of target pose, which allows satisfying (16).

The procedure of constructing an outer contour as a function g is shown in Fig. 6. Two images that correspond to a single p and different illumination have the same outer contour.

The outer contour can be used as an IF. For nonsymmetric target, it carries enough information to uniquely determine the vector p . However, the dimension of the space of outer contours is too large and does not satisfy the requirements for the function g given above.

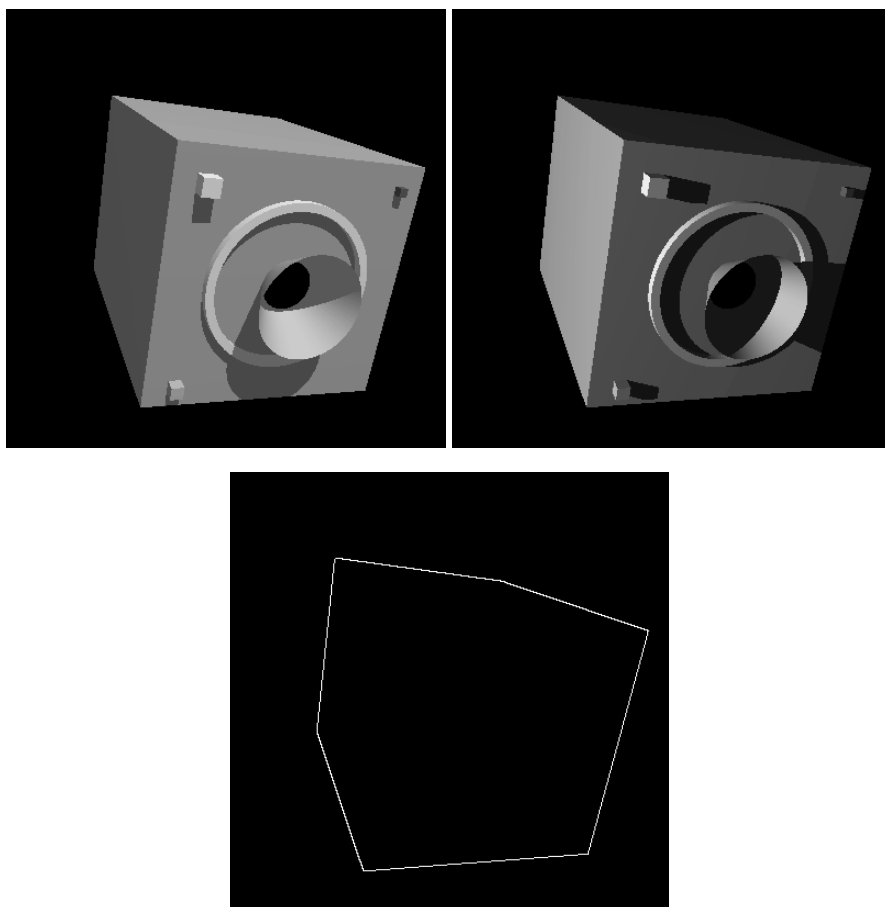


Fig. 6. Constructing an outer contour of the object as function g

To reduce the dimensionality of \tilde{A} , instead of the outer contour, we will use its descriptor — the vector of geometric features

$$(\tilde{a}_1, \tilde{a}_2, \dots, \tilde{a}_N)^T = \tilde{a} = g(a) = (g_1(a), g_2(a), \dots, g_N(a))^T, \quad (23)$$

where g_1, g_2, \dots, g_N are the functions that compute the various characteristics of the outer contour. Examples of possible characteristics are shown in Fig. 7. It is advisable to use distances to the bounding rectangle, the coordinates of its touch points by the outer contour, and others. In addition, integral characteristics, for example, area can be used. The main requirement for the IFs is their good sensitivity to change of p .

Calculation of geometric features. To solve the problem, we will use only the IFs computed from the outer contour. Consider the finding of the outer contour on real and synthesized images.

There are many works devoted to contours in the image [9–12]. The simplest solution is done in stages. First, the image is filtered from high-frequency noise, for example, using a Gaussian filter. Then, pixels of the image are defined, in which there is a sharp difference in brightness. It requires the finding of partial difference derivatives. The result of the selection of boundaries is shown in Fig. 8. The last step is finding an external closed loop.

The construction of the outer contour of the synthesized image can be done without a full rendering of the target, reducing the amount of computation. To do this, we need to obtain from the 3D model an array of all possible edges. The projection of these edges gives a wireframe image that contains an outer contour. The closed outer contour can be found by traversing the edges. An example is shown in Fig. 9.

The accuracy of calculating the outer contour on the actual and synthesized image differs. On the actual, it is determined by the pixel value, and for the synthesized image, any accuracy can be obtained. Accordingly, the IF vector $\tilde{a} = (\tilde{a}_1, \tilde{a}_2, \dots, \tilde{a}_N)^T$ on the real image will be calculated with less accuracy than the synthesized one.

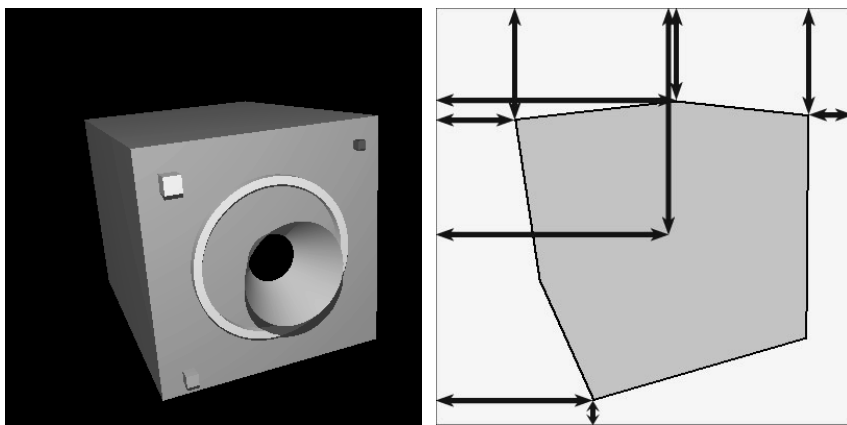


Fig. 7. Calculating the coordinates of the IF vector

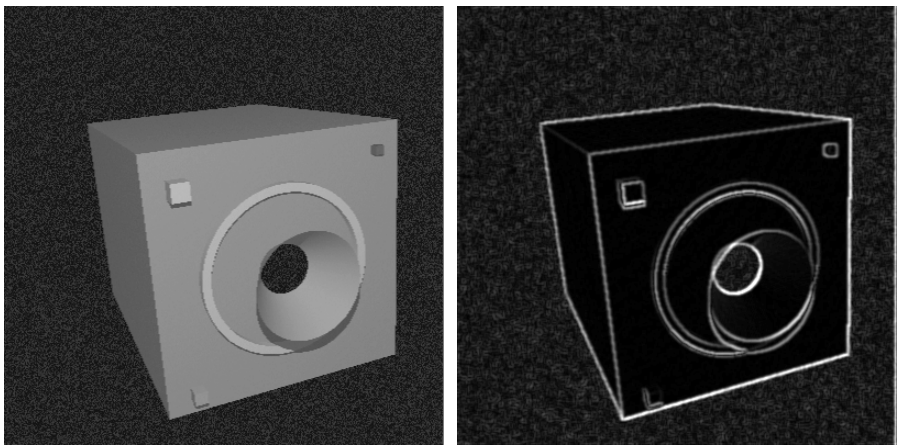


Fig. 8. Finding boundaries on a noisy image

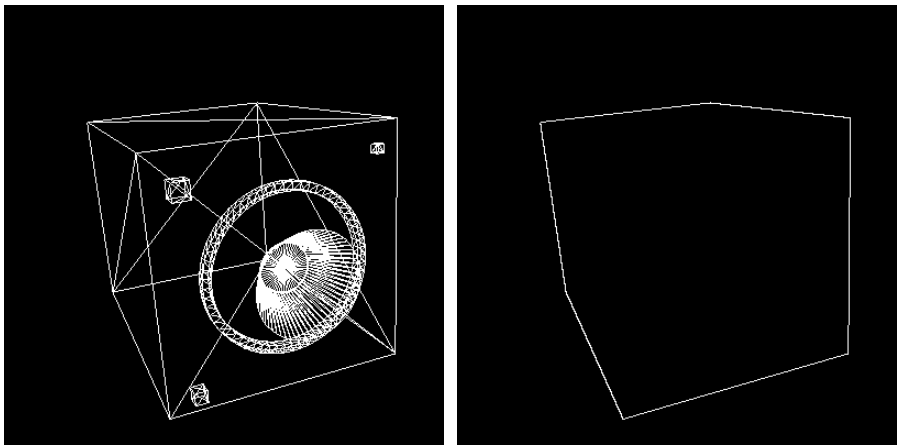


Fig. 9. Finding an outer contour for a synthesized image

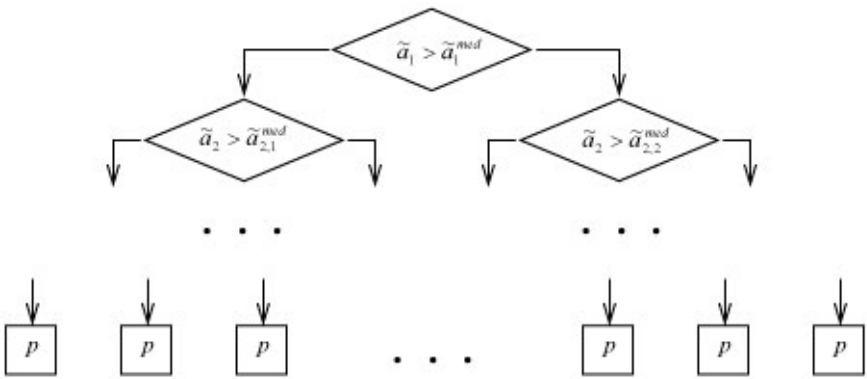


Fig. 10. Binary tree for finding the optimal grid node

Building a decision tree. Consider the implementation of a fast procedure for finding the optimal node on the grid (21) covering the set P using the feature vectors.

For each node $p_{rstijk} = (x_r, y_s, z_t, \vartheta_i, \psi_j, \gamma_k)$, a synthesized image is constructed and a feature vector \tilde{a}_{rstijk} is determined. For a sufficiently large dimension of \tilde{a}_{rstijk} and asymmetric target, each p_{rstijk} will have a unique \tilde{a}_{rstijk} .

We will construct a binary tree, the passage along which will be determined by the coordinates of the IF vector \tilde{a} . We divide all nodes into two equal groups according to the first coordinate of the IF vector \tilde{a}_1 . In the first group, the value of this attribute will be greater than the median value, and in the second — less. In turn, these groups will be divided in a half, already with respect to the median values of the second attribute. The process will continue until one node is left in each group. The received hierarchical structure will allow to determine the node nearest to the tested IF vector.

Figure 10 shows the binary decision tree. To reduce the length, it can be used a non-binary tree, when the partitioning will be conducted for more than two branches.

The partitioning of a set of nodes into groups can be done in different ways, for example, not into equal subgroups. Also can be applied different orders of attributes. The problem of constructing an optimal tree is a nontrivial problem [13, 14]. For the best separation of a large number of nodes, machine learning methods are required.

Construction of linear approximation. According to the described algorithm, to clarify the value p , it is necessary to identify the function $h^{-1} : \tilde{A} \rightarrow P$ in the neighborhood of the node $\hat{p} = (\hat{p}_1, \dots, \hat{p}_6)$. Since the function h^{-1} will be approximated linearly, the approximation of the function $h : P \rightarrow \tilde{A}$ will also be linear. Consider the system of equations

$$h(p) \approx h(\hat{p}) + H \cdot (p - \hat{p}), \quad (24)$$

where $H = \partial h(p) / \partial p = [\partial h_i(p) / \partial p_j]$ is a 6-by- N matrix. We discard from (24) $N - 6$ equations, so that the remaining rows of the matrix H are linearly independent. Denote the truncated feature vector $\tilde{a}^{reduced} \in R^6$, and the truncated function h as $h^{reduced}$. We obtain the system

$$h^{reduced}(p) \approx \tilde{a}^{reduced} + H^{reduced} \cdot (p - \hat{p}), \quad (25)$$

where $\tilde{a}^{reduced} = h^{reduced}(\hat{p})$ is the value at the node, $H^{reduced}$ is a square nonsingular matrix. The inverse function will have the form

$$p = (h^{reduced})^{-1}(\tilde{a}^{reduced}) = \hat{p} + (H^{reduced})^{-1} \cdot (\tilde{a} - \tilde{a}^{reduced}). \quad (26)$$

From the entire set of characteristics only six are used. These IFs will correspond to those rows of the system (24) that will not be discarded. The choice of rows in the transition from (24) to (25) is determined in such a way that the matrix $H^{reduced}$ has the least possible number of conditionality.

We take a series of values p that differ from the nodal \hat{p} by coordinate i .

$$p_i^j = \hat{p}_i + \varepsilon \cdot (j - k - 1), \quad j = 1, 2k + 1, \quad (27)$$

where k is a natural number. We denote this series $\{p_i^j\}$. For each p of it we compute the IF vector. For each of its coordinates \tilde{a}_l , $l = 1, N$ a sample is obtained, consisting of pairs of values <parameter p_i — feature \tilde{a}_l >. The linear approximation is constructed for this dependence by the LS method, and a coefficient $\frac{\partial \tilde{a}_l}{\partial p_i} = \partial h_l(p) / \partial p_i$ is obtained. It determines the sensitivity of a particular characteristic to the variation of a single parameter of the pose vector p .

The coefficients calculated by the described method form a matrix H . After this, the procedure of sorting out all possible six-points of the IF is carried out, and truncated systems of the form (25) with nonsingular $H^{reduced}$ are formed. For each of them, the linear function is inversed and evaluated $(h^{reduced})^{-1}$.

To select the best of the models obtained, each of them should be verified on a test sample. That of the models $(h^{reduced})^{-1}$ which will have the smallest maximum discrepancy will be accepted as a local model.

As a result, for each grid node a function will be found that allows us to find the solution of the problem on the basis of a certain subset of six IFs. The local linear model will be characterized by:

- six flags, which determine which features are used in this model;
- the vector \hat{p} specifying the value in the node;
- matrix of the system $(H^{reduced})^{-1} \in R^{6 \times 6}$.

REALIZATION OF COMPUTING EXPERIMENT

We check the method on a simplified problem, when the x, y, z coordinates are known. It is necessary to find only the angles of the turns. Since there are only three unknowns, the dimension of the matrix $(H^{reduced})^{-1}$ is three by and the number of features involved in each local model is. As IFs, 15 characteristics of the outer contour were used:

- the coordinates of the tangency of the outer contour of the bounding rectangle: left point, right point, top point, bottom point (total of eight numbers);
- coordinate of the center of gravity of the figure bounded by the outer contour (two numbers);
- the area of the figure bounded by the outer contour (one number);
- the part of the area of the figure, bounded by the outer contour, located in each of the quadrants of the bounding rectangle (four numbers).

Three points were chosen as nodal points, in the neighborhood of which a local linear model was constructed. For different sizes of the local area, identification of $(h^{reduced})^{-1}$ was performed. Optimal sets of characteristics and maximum errors on the verification samples were found.

Table 3. Errors of attitude estimation by local linear models

Node	Size of local domain, degrees			
	1	2	3	5
\hat{p}^1	0.0085	0.0125	0.0610	
\hat{p}^2	0.0144	0.0118	0.0172	0.1137
\hat{p}^3		0.0028	0.0070	0.0597

The nodes were at points with coordinates

$$\hat{p}^1 = (x=8, y=0, z=0, \quad \vartheta=10, \psi=10, \gamma=10)^T,$$

$$\hat{p}^2 = (x=8, y=0, z=0, \quad \vartheta=10, \psi=5, \gamma=10)^T,$$

$$\hat{p}^3 = (x=8, y=0, z=-0.6, \vartheta=10, \psi=5, \gamma=10)^T,$$

where the linear quantities are given in meters, and the angular values in degrees. Local areas were defined by three-dimensional cubes, with sides parallel to axes equal in size to one, two, three, and five degrees. The determination of linear models was carried out with the help of LS on the data constructed at nine points along each of the coordinate axes. The models were tested at 729 points, evenly spaced within the areas under consideration. Table 3 shows the maximum errors in the orientation angles.

When building the models, various IFs were used, including area ones. The above results show, that depending on the position of the node, it is possible to construct a satisfactory local linear model on a region of larger or smaller size.

CONCLUSIONS

The analysis of the pose estimation problem of a known three-dimensional object from its image allowed to develop a possible method of solution.

It is shown that for the solution of the problem it is expedient to use informative features, calculated from the original images. Analysis of the algorithm for solving the problem made it possible to establish the requirements for them.

When examining the existing classification of image attributes, it was found that there is a group of features that can be effectively used to solve the problem of determining the position and attitude of the body in space. The possibility of implementing the proposed method using informative features is confirmed experimentally with the help of modeling.

A technique for determining the minimum values of the characteristics of a video camera is proposed, which allows at the design stage to estimate the potentially achievable accuracy of solving a problem for a given target object.

REFERENCES

1. Gubarev V.F., et. al. Using Vision Systems for Determining the Parameters of Relative Motion of Spacecrafts. *Journal of Automation and Information Sciences*, 2016. №11. P. 23–39 (in Russian).
2. Shi J.-F., et. al. Uncooperative Spacecraft Pose Estimation Using an Infrared Camera During Proximity Operations. *AIAA Space 2015 Conference and Exposition*. Issue AIAA 2015–4429. 17 pp.
3. Kelsey J.M., et. al. Vision-Based Relative Pose Estimation for Autonomous Rendezvous and Docking. *2006 IEEE Aerospace Conference*. 20 pp.
4. Zorich V.A. Mathematical Analysis. Part 2. Moscow: Nauka, 1984. 640 p. (in Russian).
5. David, P. et. al. SoftPOSIT: Simultaneous Pose and Correspondence Determination. *International Journal of Computer Vision*. 2004. Vol. 59. I. 3. P. 259–284.
6. Philip N.K., Ananthasayanam M.R. Relative position and attitude estimation and control schemes for the final phase of an autonomous docking mission of spacecraft. *Acta Astronautica*. 2003. Vol. 52. I. 7. P. 511–522.
7. Shijie et.al. Monocular Vision-based Two-stage Iterative Algorithm for Relative Position and Attitude Estimation of Docking Spacecraft. *Chinese Journal of Aeronautics*, 2010. Vol. 23. I. 2. P. 204–210.
8. Vassilieva N.S. Content-based image retrieval methods. *Programming and Computer Software*. 2009. Vol. 35. № 3. P. 158–180 (in Russian).
9. Prewitt J.M.S. Object enhancement and extraction. *Picture Processing and Psychopictorics*, B. Lipkin and A. Rosenfeld. New York: Academic Press. 1970. P. 75–149.
10. Sobel I., Feldman G. A 3x3 isotropic gradient operator for image processing, presented at a talk at the Stanford Artificial. *Project in Pattern Classification and Scene Analysis*, R. Duda and P. Hart. Eds.: John Wiley & Sons, 1968. P. 271–272.
11. Canny, J. A computational approach to edge detection. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 1986. № 8(6). P. 679–698.
12. Arbelaez P., et al. Contour Detection and Hierarchical Image Segmentation. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 2010. P. 898–916.
13. Bentley J.L. Multidimensional binary search trees used for associative searching. *Communications of the ACM*. 1975. Vol. 18. I. 9. P. 509–517.
14. Samet H. The Design and Analysis of Spatial Data Structures. 1990. 493 p.

Received 14.06.2017

ЛИТЕРАТУРА

1. Губарев В.Ф., Боюн В.П., Мельничук С.В., Сальников Н.Н. Использование систем технического зрения для определения параметров относительного движения космических аппаратов. *Проблемы управления и информатики*. 2016. №6. С. 103–119.
2. Shi J.-F., et. al. Uncooperative Spacecraft Pose Estimation Using an Infrared Camera During Proximity Operations. *AIAA Space 2015 Conference and Exposition*. Issue AIAA 2015–4429. 17 pp.
3. Kelsey J.M., et. al. Vision-Based Relative Pose Estimation for Autonomous Rendezvous and Docking. *2006 IEEE Aerospace Conference*. 20 pp.
4. Зорич В. А. Математический анализ. Часть II. Москва, 1984. 640 с.
5. David, P. et. al. SoftPOSIT: Simultaneous Pose and Correspondence Determination. *International Journal of Computer Vision*. 2004. Vol. 59. I. 3. P. 259–284.
6. Philip N.K., Ananthasayanam M.R. Relative position and attitude estimation and control schemes for the final phase of an autonomous docking mission of spacecraft. *Acta Astronautica*. 2003. Vol. 52. I. 7. P. 511–522.
7. Shijie et.al. Monocular Vision-based Two-stage Iterative Algorithm for Relative Position and Attitude Estimation of Docking Spacecraft. *Chinese Journal of Aeronautics*. 2010. Vol. 23. I. 2. P. 204–210.
8. Васильева Н.С. Методы поиска изображений по содержанию. *Программирование*. 2009. Vol. 35. № 3. P. 51–80.

9. Prewitt J.M.S. Object enhancement and extraction. *Picture Processing and Psychopictorics*. New York: Academic Press. 1970. P. 75–149.
10. Sobel I., Feldman G. A 3x3 isotropic gradient operator for image processing, presented at a talk at the Stanford Artificial. *Project in Pattern Classification and Scene Analysis*. R. Duda and P. Hart, Eds.: John Wiley & Sons, 1968. P. 271–272.
11. Canny, J. A computational approach to edge detection. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 1986. № 8(6). P. 679–698.
12. Arbelaez P., et al. Contour Detection and Hierarchical Image Segmentation. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 2010. P. 898–916.
13. Bentley J.L. Multidimensional binary search trees used for associative searching. *Communications of the ACM*. 1975. Vol. 18. I. 9. P. 509–517.
14. Samet H. The Design and Analysis of Spatial Data Structures. 1990. 493 p.

Получено 14.06.2017

Мельничук С.В., канд. техн. наук,
наук. співроб. відд. керування динамічними системами
e-mail: sergvik@ukr.net
Губарев В.Ф., член-кореспондент НАН України, проф.,
д-р. техн. наук, зав. відд. керування динамічними системами
e-mail: v.f.gubarev@gmail.com
Сальніков М.М., канд. техн. наук,
старш. наук. співроб. відд. керування динамічними системами
e-mail: salnikov.nikolai@gmail.com
Інститут космічних досліджень НАН України та ДКА України,
пр. Акад. Глушкова 40, корп. 4/1, 03187, Київ, Україна

ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ОЗНАК У СИСТЕМІ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ КОСМІЧНОГО АПАРАТА ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ПОЛОЖЕННЯ ТА ОРІЄНТАЦІЇ

Розглянуто задачу створення системи комп'ютерного зору, яку призначено для визначення відносного положення і орієнтації цільового об'єкта відомої форми на основі його зображень. Розглянувши наявні класифікації ознак зображень, було з'ясовано, що є група ознак, які може бути ефективно використано для розв'язання завдання визначення положення і орієнтації тіла в просторі. Можливість реалізації запропонованого методу з використанням інформативних ознак підтверджена експериментально за допомогою моделювання. Було використано метод, який передбачає машинне навчання системи для кожного окремого цільового об'єкта. Отримані результати дозволяють створити на їх основі систему комп'ютерного зору для вирішення задачі автоматичного зближення і стикування космічних апаратів, в тому числі з об'єктами космічного сміття.

Ключові слова: автоматичне стикування, визначення положення і орієнтації, некооперований об'єкт, комп'ютерний зір, дерево рішень, лінійна апроксимація, інформативні ознаки, оброблення зображень, машинне навчання, ідентифікація.

Мельничук С.В., канд. техн. наук,

науч. сотр. отд. управления динамическими системами

e-mail: sergvik@ukr.net

Губарев В.Ф., член-корреспондент НАН Украины, проф.,

д-р. техн. наук, зав. отд. управления динамическими системами

e-mail: v.f.gubarev@gmail.com

Сальников Н.Н., канд. техн. наук,

старш. науч. сотр. отд. управления динамическими системами

e-mail: salnikov.nikolai@gmail.com

Институт космических исследований НАН Украины и ГКА Украины,

пр. Акад. Глушкова 40, корп. 4/1, 03187, Киев, Украина

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАТИВНЫХ ПРИЗНАКОВ В СИСТЕМЕ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА ДЛЯ ОЦЕНИВАНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ И ОРИЕНТАЦИИ

Рассмотрена задача создания системы компьютерного зрения, предназначенной для определения относительного положения и ориентации целевого объекта известной формы на основе его изображений. Был использован метод, предполагающий машинное обучение системы для каждого отдельного целевого объекта. При рассмотрении существующей классификации признаков изображений было выяснено, что существует группа признаков, которые могут быть эффективно использованы для решения задачи определения положения и ориентации тела в пространстве. Возможность реализации предложенного метода с использованием информативных признаков подтверждена экспериментально с помощью моделирования. Полученные результаты позволяют создать на их основе систему компьютерного зрения для решения задачи автоматического сближения и стыковки космических аппаратов, в том числе с некооперируемыми объектами космического мусора.

Ключевые слова: автоматическая стыковка, определение положения и ориентации, некооперируемый объект, компьютерное зрение, дерево решений, линейная аппроксимация, информативные признаки, обработка изображений, машинное обучение, идентификация.

Медицинская и биологическая кибернетика

DOI: <https://doi.org/10.15407/kvt190.04.056>

UDC 004.942: 614.7

M.Yu. ANTONOMOV¹, Dr (Biology), Professor,
Chief Researcher of the Laboratory of Epidemiological
Research and Medical Informatics

e-mail: antomonov@gmail.com

A.A. SHEVCHENKO², Dr (Medicine), Professor,
Head of Research Center of State University
"Dnipropetrovsk Medical Academy of Ministry
of Health of Ukraine"

e-mail: toxysan@ukr.net

A.A. KULAGIN³, Ph.D (Medicine),
Professor of the Department of Hygiene and Ecology

e-mail: kulagin111188@ukr.net

¹ O.M. Marzeev Institute for Public Health of the National
Medical Academy of Sciences of Ukraine,
Popudrenko Str., 50, Kyiv-94, 02660, Ukraine

² Research Center of State University "Dnipropetrovsk Medical
Academy of Ministry of Health of Ukraine",
Vernadsky Str., 9, Dnipro, 49027, Ukraine

³ Dnipropetrovsk Medical Academy of the Ministry of Health of Ukraine
Soborna Square, 4, Dnipro, 49027, Ukraine

ALGORITHMS OF MULTIFACTORIAL REGRESSION MODELING IN ECOLOGICAL AND HYGIENIC STUDIES

Introduction. One of the most urgent problems of environmental health is soil contamination by oil and petroleum products (PP) and its impact on crop productivity and population health. The main task here is to determine the acceptable or safe concentrations of PP in the soil. However, at present time there is no unified approach of PP regulating in different countries. One possible solution of the problem is mathematical modeling of the results of experimental studies. With the help of mathematical models, it becomes possible not only to describe the investigated dependencies, but also to calculate safe levels of PP in the soil.

The purpose of the paper is to develop a methodology for constructing and using multi-factor nonlinear regression models from data obtained in a real ecological and biological experiment.

Results. The article presents the results of an experimental study of the influence of one type of petroleum products — diesel fuel, when it enters the soil to germinate one of the most important crops — wheat. It is shown that the mathematical model describing the suppress

© M.Yu. ANTONOMOV, A.A. SHEVCHENKO, A.A. KULAGIN, 2017

sion of wheat growth should be a multifactorial function ("time — concentration — effect"), which has a nonlinear character. An algorithm for constructing multifactorial nonlinear regression models is proposed. On the basis of experimental data, an adequate multifactor nonlinear mathematical model was developed. This made it possible to calculate the threshold concentration of diesel fuel, which does not affect the growth of wheat.

Conclusion. On the basis of the proposed algorithm from experimental data an adequate multifactor nonlinear regression model was constructed. With the help of this model, the concentration of diesel fuel that does not cause a negative effect on the growth of wheat was calculated.

Keywords: petroleum products, environmental contamination, threshold concentration, mathematical modeling, nonlinear multifactor regression models.

INTRODUCTION

One of the top problems of environmental hygiene is the soil pollution by petrochemical products and its negative impact on the productivity of agricultural crops.

World's industrial growth and the increasing of transnational traffic leads to an average 2% of world's annual growth of petrol production. About half of the world oil losses leaks into the soil. Sources of such pollution are usually — petrol extracting and petroleum refining facilities, pipelines, oil terminals, petrol stations, all types of transport, that either use or/and transport petrol and petroleum products (PP). The loss of petrol and PP at oil production, its further processing, transportation and use, reaches 45 mln m.t. per year, or almost 2–3% of the world production [1, 2]. Only in carrying out dumping/filling operations with rail tank cars they lost up to 0.36–0.44 mg/m³, automobile — up to 0.42–0.6 mg/m³ OP [3]. According to official data (2006) at Sumy region, where 50% of the national petroleum production is placed, the area of soil, polluted by oil, consists of 14.2 hectares, 5.8 ha of which — are agricultural lands [4].

Petrol and PP affect all components of ecosystems: soil, microflora, flora and fauna. However petrol and PP are subject to extremely slow and difficult biodegradable oxidation in soil environment [5]. Once in the soil, such petrol components as oil resins and asphaltenes (heavy fractions) clog all pores, stopping the movement of water and oxygen that has negative impact onto the viability of soil biota. Methane and aromatic hydrocarbons (light oil fractions: petrol, diesel, etc.) have a direct toxic effect, leading to a number of negative impacts, such as: oppression of self-purification or vegetation degradation, disruption the ecological balance in the soil ecosystem, negatively affect organisms living in soil, alter the soil structure, reduce the productivity of agricultural lands, etc. [6]. It is important to note that gasoline and diesel fuel, unlike crude oil, have global scale of distribution and use, while diesel fuel comparable to gasoline remains in soil for much longer [7].

The natural restoration of soil ecosystems contaminated by petrol and PP is a long and complicated process. Under the influence of oil pollution, soil is restored much worse than water and air environment, as it is capable to accumulate and consolidate toxic substances. It was demonstrated that the natural penetration of mineral oils into the soil as a result of accidental leakage is quite durable and can last up to 45 years or more [8].

The task of high priority in assessing the level of soil contamination in PP is to determine their permissible or safe concentration.

One of the possible solutions to the problem of establishing the sanitary rules of PP is the mathematical modeling of the results of experimental studies. Mathematical models can help not only to describe the dependencies, but also to study and calculate safe concentrations of PP in the soil.

PROBLEM STATEMENT

To date, the maximum allowable concentrations (MACs) of petroleum products in soil on the territory of the former USSR are legally adopted only in Tatarstan and Belarus. In Tatarstan, allowed MAC is 1.5 g/kg — according to the translocation level of harmfulness. In Belarus MAC of mineral oil in soil depends on the category of land: agricultural lands-50 mg/kg, localities lands, horticultures, summerhouse cooperatives -100 mg/kg, industrial lands, for transportation, communications, energy, defense and other purposes-500 mg/kg, lands of environmental, health, recreational, historical and cultural purposes, along with the lands of forest and water fund, and land reserve is 50 mg/kg [9].

Three levels of soil pollution assessment are applied in the Netherlands, i.e. background pollution with PP concentration 50 mg/kg or less, increased pollution-1000 mg/kg, high pollution-5000 mg/kg. In Germany, the permissible PP concentration in soil at water reserve zones and in nature reserves is 300 mg/kg, soils of ancient river valleys-3000 mg/kg, watersheds-5000 mg/kg. Some other West European countries take 1000 mg/kg [10] as the upper safe levels of PP in soil. Soil pollution by PP in Russia assessed by the levels of: acceptable — up to 1000 mg/kg, low — 1000–2000 mg/kg, average — 2000–3000 mg/kg, high-3000-5000 mg/kg, very high- more than 5000 mg/kg [11]. In Ukraine MACs for petrol and petroleum products in the soil are not legally adopted, while all relevant studies commonly refer to the AAC- approximately allowable concentration (0.2 mg/kg) [12].

Thus, different countries have not any common approach to environmental and hygienic regulation of PP, because of the diversity and specifics of the object of study, and traditional methodological difficulties in determining threshold levels of chemicals in the soil in general [13].

The study of the effect of different PP is sometimes complicated, as it is almost impossible to create and to consider during the experiment all variables present in real environment, particular in soil. That results in shown above diversity of values regulations sometimes substantially differ from each other. This creates significant problems in risk assessing of soil pollution by PP and, that is the most important, of relative levels of such pollution to health indicators of population living in contaminated territories.

Moreover, it is very difficult to consider during the experiment all time processes of biological and physical-chemical transformations of PP that also reduces the accuracy of obtained thresholds, despite considerable cost and duration of such studies.

Different techniques and methods of mathematical processing are currently widely used to solve a variety of medical, ecological and hygiene tasks. Computer data processing with the use of appropriate statistical packages is not only effective, but also is mandatory for any scientific research. However, as a rule in mathematical processing one uses traditional for this scientific field techniques and methods.

For clinical studies, odds ratios and formal diagnostic methods can be calculated or individual mechanisms of pathological processes such as treatment of apoplexy [14], limb diseases [15], tumor growth [16, 17], including that in the brain [18], changes in pulmonary pressure in hyperthyroidism [19], etc are described.

For full-scale data, various elements of epidemiological processes [20] are usually studied for their dependence on risk factors [21], dynamic aspects are spread epidemics [22], the spread of non-infectious diseases [23]. General methodological questions concerning the use of applied mathematical methods are mainly presented in authoritative reference publications [24–27].

Typically, the proposed mathematical method, describing the relationship, is a different version of the regression analysis. To model the actions of one predictor, we use linear or nonlinear one-factor models. In the case of nonlinear models, we mainly use logistic functions, which are linearized using the simplest methods.

If the linearization of nonlinear models is difficult or initially assumed that it will not be used at all, the most complex problem of regression analysis arises — that is, the construction of multifactor models with nonlinear regression without the linearization procedure.

The feasibility of solving such a problem is primarily due to the need of a mathematical description of complex dynamic processes, including for ecological and hygienic research.

Given the a priori sufficient complexity of the influence of PP on soil quality and its biological productivity, it can be assumed that to describe these processes it is advisable to use the apparatus of nonlinear regression analysis. Since the final result obviously depends on the concentration of the PP and its duration, the regression models, by definition, must be multifactorial.

However, the methodology for constructing models that describe real natural processes is far from being finalized.

The purpose of the paper is to develop a methodology for constructing and using multifactor nonlinear regression models from data obtained in a real ecological and biological experiment.

MULTIFACTOR NONLINEAR REGRESSION MODELS DESIGN ALGORITHM

In general terms, any mathematical model has the form:

$$\hat{y} = f(\{a_j\}, \{x_k\}),$$

where: \hat{y} — function (dependent variable); $\{a_j\}$ ($j = 0, \dots, m$) — is the set of m parameters of the model; $\{x_k\}$ — vector of arguments (factors, predictors, independent variables); f — dependence operator.

The task of building a model is to select the type of function f and to calculate its parameters $\{a_j\}$ according the array of source data $\{y_k\}$, $k = 1, K$, where K — is the number of the registration points of source data [28–30].

Consider a common algorithm of building such models, let designate impact factors in large Latin letters A, B, C, \dots (as in variance analysis), and the coefficients (parameters) of models — in small Latin letters: a, b, c, \dots

Table 1. Source data for two variables

The values of the factor A	The values of factor B					
	$B1$	$B2$	...	Bj	...	Bm
$A1$	$y11$	$y12$	...	$y1j$	...	$y1m$
$A2$	$y21$	$y22$	...	$y2j$	...	$y2m$
...
Ai	$yi1$	$yi2$	...	yij	...	yim
...
An	$yn1$	$yn2$	...	ynj	...	ynm

To simplify, let's consider firstly the procedure of model building for only two factors A and B :

$$\hat{y} = f(\{a\}, \{b\}, A, B).$$

1. At the first stage all source data are collected into a single table. For two variables — A (with gradations of A_i $i = 1, n$) and B (with gradations B_j $j = 1, m$) the table usually has this form (Table 1)

2. At the second step, let's choose one of the factors (e.g. A) and build the original function dependency plots from this variable $f(A)$ for each value of another factor (B):

$$\hat{y} = f_B(A).$$

The number of graphs is equal to the number of parameters, i.e. m . We define the type (class) of the regression model by the appearance of the graphs. The accuracy and adequacy of further modeling depends on the choosing the type of the function. Therefore, at this stage it is advisable to make full use of software tools for plotting diagrams. The most suitable way is to choose the leveling function from the exponential class with constrained models (the so-called "biological" curves).

Ideally, this function should match equally well the alignment of the plots for all values of m of the second factor. It is not excluded that the chosen type of function will eventually lead to the creation of an adequate model. If this is the case, all subsequent modeling steps must be removed and the construction process resumes using a different type of model.

3. The chosen mathematical model (the first-level model) is written analytically and its parameters are calculated in accordance with the initial data by numerical methods. Modern software provides many such methods. Therefore, if the model is chosen prudently, and the requirements for sufficient points to calculate the selected number of settings are maintained to get the desired result, this does not create any problems.

As a rule, the implementation of numerical methods involves setting initial approximations for all unknown parameters of the model. The better (closer to the final result) they are set initially, the greater the likelihood that the numerical refinement procedure will be correctly implemented. Therefore, the settings of the initial parameter values should be performed with the utmost care, using all possible expert information and graphical analysis results.

Calculation of parameters of the model is made for all m values of B factor.

Table 2. Presentation of results for the first level modeling

Model parameters	The values of factor B					
	B_1	B_2	...	B_j	...	B_m
a_1	a_{11}	a_{12}	...	a_{1j}	...	a_{1m}
a_2	a_{21}	a_{22}	...	a_{2j}	...	a_{2m}
...

As a result we get a table of values for all model parameters of the first level for each value of factor B (Table 2).

4. Then we construct a second-level model, that is, mathematically describes the dependence of the changes for each parameter of the first-level model when the coefficient B is changed:

$$a = f(\{b\}, B).$$

To do this, we repeat the previous steps and put the parameter values in the new tables. After that, we create new plots separately for each parameter. For these plots, we also choose approximating functions. Naturally, these functions may be different for different graphs, including non-linear functions. Then, for each parameter a , the coefficients b of the corresponding dependencies are calculated.

5. Then we assemble an entire model. Two-tier model is written down analytically. Instead of coefficients in a symbolic form we fill in their numeric values. These values are considered to be initial approximations of the parameters of the resulting model.

According to them we make corrections with the help of numerical methods and model acquires the final form. At this stage we verify the accuracy of the model, i.e. the accordance of calculated values to source data. For this purpose we select the corresponding criterion and perform necessary calculations.

At this stage we perform graphical representation of the results. For two-factor models with the help of software we build function graphs in 2D and surfaces in 3D. We select the position of the surface in three-dimensional space, select colors and build cross sections of that surface in all directions, etc.

6. If a model satisfies formal and substantive criteria, one may start working with it: to calculate the projection of function changes when modifying factors (direct task simulation), to find the "critical" (threshold) value factors when values function are set (inverse problem), to identify areas of change of some values while other factors are fixed, etc.

For a larger number of factors the procedure of nonlinear simulation is mostly the same. Stages of building models of a third (or more) orders are added. That is, for three factors it is necessary to build plots of changes in parameters b of second order model depending on factor C . Then one should calculate values of parameter c and write down the model in general terms.

PRACTICAL IMPLEMENTATION OF THE ALGORITHM IN ECOLOGICAL AND HYGIENIC TASKS

In accordance with the task we investigated the impact of PP, namely, diesel fuel (DF), on the development of wheat germs in the possible soil contamination.

It is known that physical-chemical characteristics in particular, their insolubility in water, determine the impossibility of their assimilation by crops root system. Therefore, priority and the most dangerous for vegetation is their phyto-toxic effect that leads to suppression of plant growth and its further death.

In the experiment we used classic methodology of phyto-toxic measurement according MR 2609-82 that involved seeds pre-sprouting in Petri dishes with different quantities of DF and thin layer of soil (50 grams in each cup) [31]. In assessing phyto-toxic effect of DF, we considered the dynamics of germination, crop germination rate and the length of the plants roots.

With the help of eyedropper 25, 50, 75, 100, 200 and 300 mg of DF were evenly put into each dish that makes 0.5, 1, 1.5, 2.0, 4.0 and 6.0 g/kg for 50 g of dry soil. In every dish 30 winter wheat seeds were sown, covered with a 50 g layer of ordinary black-earth soil, brought to 60% of total moisture content. Then on the 3-rd, 4-th, 5-th, 6-th and 7-th day the percentage of germination of plants sprouts was counted.

Thus, the initial function y represented itself the number of seeds germinated (in %), the first obvious factor A — time of observation (day), the second factor B — DF concentration (g/kg). Source data are given in Table 3, dynamics graphs presented in Fig. 1.

The most suitable mathematical form of description of this kind of dynamics (first level model) is the exponential function with the limitation of growth:

$$\hat{y} = f(\{a\}, A) = y(A) = a_1(1 - \exp(-a_2 * (A - a_3))),$$

where \hat{y} — is the theoretical value of the percentage of sprouted seeds, a_1 — is its limit (scale parameter), a_2 — is the speed parameter, A — is the observation time, and a_3 — is the possible time shift before the germination begins (shift parameter).

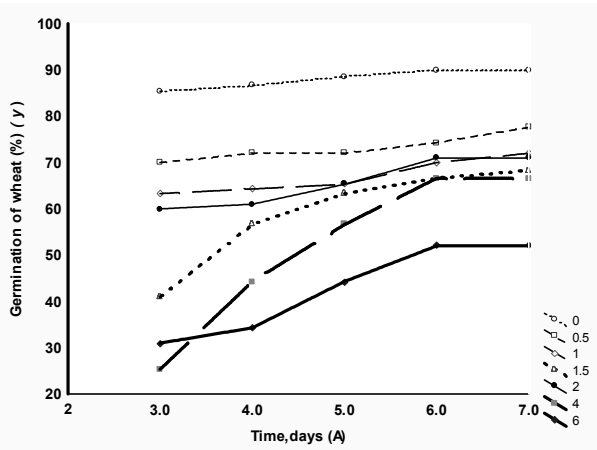


Fig. 1. An experimental graph showing the dynamics of germination of wheat seeds

Table 3 Germination of wheat (%) with application of DF

Time (days)	The concentration of DF (g/kg)						
	0(control)	0.5	1	1,5	2	4	6
3	82.0	82.0	61.0	51.0	44.3	48.6	12.0
4	84.3	84.3	80.0	58.6	57.6	56.6	17.6
5	84.3	84.3	80.0	58.6	57.6	56.6	17.6
6	87.6	90.0	85.3	64.3	62.0	57.6	36.6
7	88.6	90.0	85.3	64.3	62.0	57.6	46.6

Table 4. The results of calculating the statistical characteristics of the first level mathematical model

Concentration DF (g/kg)	Statistical characteristics				
	parameter	average	S_a	t_a	p_a
0	$a_1 \cdot 10^{-2}$	0.89	0.006	147.45	< 0.001
	a_2	0.97	0.079	12.32	0.001
	a_3	0	-	-	-
0.5	$a_1 \cdot 10^{-2}$	0.75	0.015	51.16	< 0.001
	a_2	0.82	0.138	5.96	0.009
	a_3	0	-	-	-
1	$a_1 \cdot 10^{-2}$	0.70	0.021	33.06	< 0.001
	a_2	0.68	0.128	5.36	0,013
	a_3	0	-	-	-
1.5	$a_1 \cdot 10^{-2}$	0.69	0.003	259.48	< 0.001
	a_2	0.78	0.023	34.13	0.001
	a_3	1.85	0.032	57.65	< 0.001
2	$a_1 \cdot 10^{-2}$	0.74	0.080	9.35	0.068
	a_2	0.50	0.561	0.89	0.534
	a_3	0.66	2.931	0.22	0.857
4	$a_1 \cdot 10^{-2}$	0.74	0.051	14.40	0.005
	a_2	0.52	0.131	4.03	0.056
	a_3	2.22	0.188	11.82	0.007
6	$a_1 \cdot 10^{-2}$	0.54	0.044	12.40	0.051
	a_2	0.76	0.411	1.86	0.314
	a_3	2.73	0.583	4.68	0.134

The values of the model parameters: average value, error S , Student's coefficient t , accuracy p , are calculated by numerical method of Levenberg-Marquardt using the package STATISTICA 10.0 (Table 4).

Then we examined the dependencies of these parameters (a_1 , a_2 , a_3) according to concentration of B . The original plot of changes of parameter a_1 appears as follows (Fig. 2).

It can be seen that generally the dependence has a decreasing trend. Mathematical model of the second level for parameter a_1 can be represented by decreasing hyperbolic function with a shift:

$$a_1(B) = b_1 / (B + b_2)^{b_3}.$$

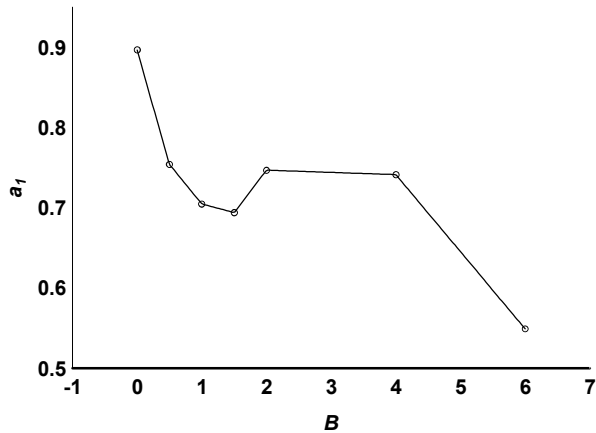


Fig. 2. Plot of changes $a_1(B)$

Table 5. Statistical characteristics of model parameters $a_1(B)$

Parameters	Statistical characteristics			
	average	S_b	t_b	p_b
b_1	0.84	0.019	43.55	0.001
b_2	0.75	0.099	7.64	0.017
b_3	0.22	0.014	16.54	0.004

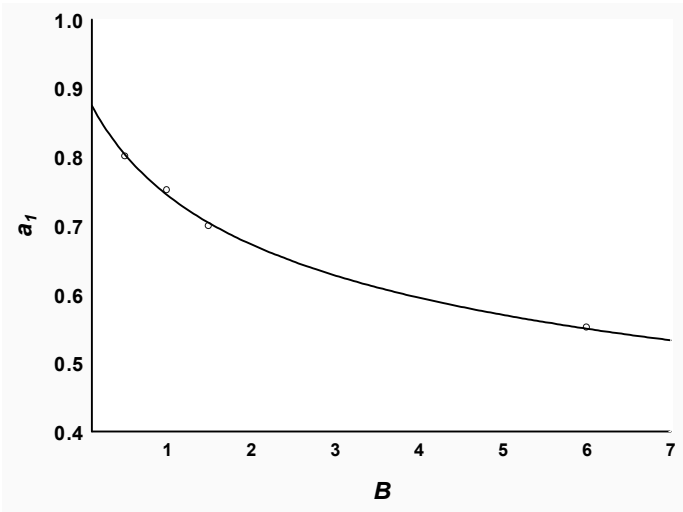


Fig. 3. Mathematical model of dependencies $a_1(B)$

The results of calculations by numerical methods made with the use of STATISTICA 10.0 software are listed in Table 5. All parameters are valid at the high significance level that demonstrates the adequacy of the chosen model. The plot of this function is shown in Fig. 3.

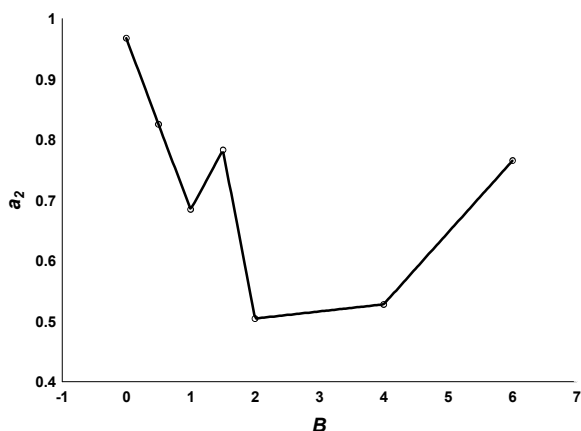


Fig. 4. The original graph of $a_2(B)$ changes

Table 6. Statistical characteristics of model parameters $a_2(B)$

Parameters	Statistical characteristics			
	average	S_b	t_b	p_b
b_4	3.64	1.059	3.44	0.026
b_5	3.87	1.344	2.88	0.045

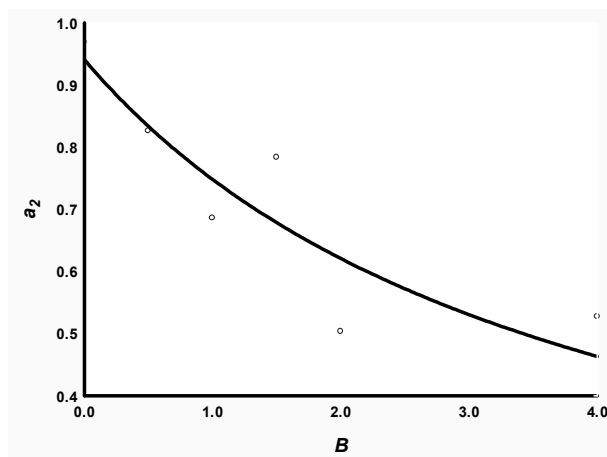


Fig. 5. Mathematical model of dependencies $a_2(B)$

The original graph of speed parameter (a_2) depending on concentration (B) is shown in Fig. 4. It can be seen that generally, except for the last point, the dependency can be described by decreasing hyperbolic function with a shift:

$$a_2(B) = b_4 / (B + b_5).$$

The results of the calculation of the parameters are given in Table 6. The values of the parameters are statistically reliable, hence the model is correctly constructed. The plot of the theoretical curve corresponding to this model is shown in Fig. 5.

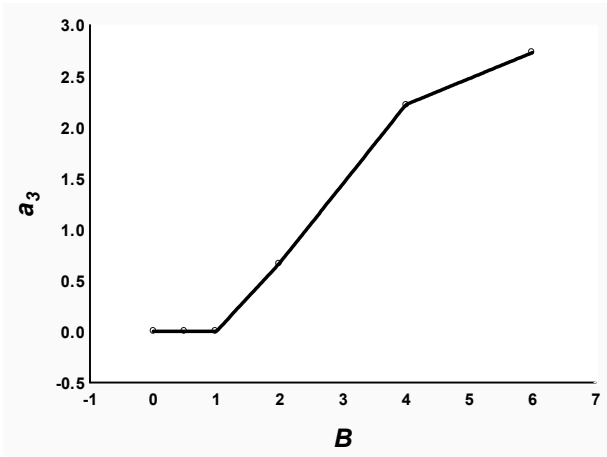


Fig. 6. The original graph of $a_3(B)$ changes

Table 7. Statistical characteristics of model parameters $a_3(B)$

Parameters	Statistical characteristics			
	average	S_b	t_b	p_b
b_6	2.47	0.195	12.72	0.006
b_7	1.62	0.492	3.30	0.081
b_8	0.99	0.067	14.80	0.005

Source graph of shift a_3 parameter depending on DF concentration (B) is presented in Fig. 6.

The most appropriate function for describing this kind of dependency is the exponential function with a shift and restriction of growth:

$$a_3(B) = b_6(1 - \exp(-b_7(B + b_8))).$$

The results of calculating the model parameters are given in Table 7. The function parameters are statistically reliable or tend to be reliable, therefore the model can be considered adequate.

Thus, all parameters of the model "DF concentration — time — effect" to describe the germination of wheat were obtained, and the model has the following general form:

$$\hat{y} = b_1 / ((B + b_2)^{b_3}) * \{1 - \exp[-(b_4 / (B + b_5)) * (A - (b_6 * (1 - \exp(-b_7(B + b_8))))]\}.$$

We determine the error of the model $d(\%)$ according to the formula of relative standard deviation:

$$d\% = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^K [(y_k - \hat{y}_k) / \hat{y}_k]^2}{K - 1}} \cdot 100.$$

The error of the model is $d = 14.3\%$, which indicates a rather accurate description of the initial data with the help of the developed mathematical model.

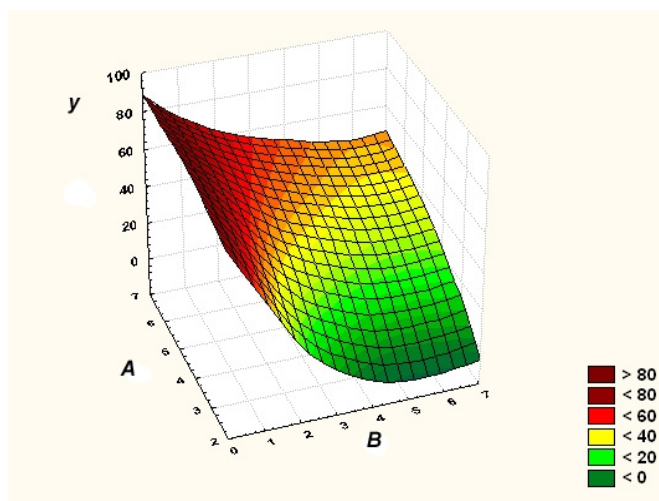


Fig. 7. Plot of dependencies “time (A) — concentration (B) — effect (\hat{y})” of germination of wheat under influence of DF

The chart of a model function in 3D is shown in Fig. 7.

According to the guidelines (MP No. 2609-82) the minimum active concentration of PP should be considered such a concentration that causes growth inhibition of test seedlings plants by at least 20% compared to control [31].

With the help of the model we have calculated a threshold concentration of DF, which is equal to 1.2 g/kg. The theoretical value was higher than the experimental concentration of 1.0 g/kg, where test germination did not differ from control for 20%, and less than 1.5 g/kg, where this effect has already been observed.

Thus, using the proposed algorithm for the initial data, we constructed a multifactorial model of nonlinear regression, which quite accurately describes the results of the experimental study. Using this model, we calculated the threshold concentration of DF, which was an intermediate value between experimentally active and inactive concentrations.

CONCLUSIONS

It was shown that the methodological difficulties in justifying threshold levels of one of priority pollutants of soil — petrol and its derivatives can be overcome by using mathematical simulation of results in the experimental study.

Offered algorithm that consists of a hierarchical procedure of graphical analysis, the choice of the class of functions and numerical calculation of parameters enables the design of the most complex type of regression models — multifactor nonlinear function.

According to the proposed algorithm, a mathematical model was constructed to describe the results of an experimental study of the effect of DF on the germination of wheat.

On the basis of the constructed model, the critical (threshold) concentration of DF (1.2 g / kg) was calculated, that does not negatively affect the germination of plants as compared to the control.

REFERENCES

1. Tyuleneva V.A., Solyanik V.A., Vaskina I.V., Shalugin V.S. Regarding oil filtration in soils. *Bull. of the KSPU*. Iss. 2. Part 2. 2006. P. 110–112. (in Russian).
2. Rogozina E.A. Topical issues on cleaning of oil-contaminated soils. *Oil and Gas Geology. Theory and practice (1)*. 2006. P. 1–10. (in Russian).
3. Bilonenko G.M. Changes in soil fertility under hydrocarbon contamination. *Bull. of Agrarian Science*. 2002. No. 10. P. 52–54. (in Ukrainian).
4. Abramov Yu.A., Grinchenko E.N., Kirochkin A.Yu. Emergency monitoring. Kharkiv, 2005. 530 p. (in Ukrainian).
5. Boychenko S.V. Rational use of hydrocarbon fuels. Monograph. Kyiv, 2001. 216 p. (in Ukrainian).
6. Oborin A.A. Oil-contaminated biogeocinoses. Monograph. Ural Branch of the RAS. Perm, 2008. 511 p. (in Russian).
7. Shevchenko A.A., Kulagin A.A. The Study of petroleum stability of Petroleum Products in black-soil. Materials of a Scientific-Practical Conference with International Participation "Preventive Medicine: Achieving the Present and Looking to the Future", (May 19–20, 2016, Dnipropetrovsk). Dnipropetrovsk, 2016. P. 189–190. (in Ukrainian).
8. Solntseva N.P. Oil production and geochemistry of natural landscapes. Moscow, 1998. 405 p. (in Russian).
9. On approval of maximum permissible concentrations of petroleum products in land (including soils) for various land categories. Ministry of Health of the Republic of Belarus, 2012. No. 17/1. (in Russian).
10. Rekultivatsiya zemel, zagryaznennykh neftyu i nefteproduktami https://ecodelo.org/9935-71_rekultivatsiya_zemel_zagryaznennykh_neftyu_i_nefteproduktami-rekultivatsiya_zemel (in Ukrainian).
11. Procedure for determining the size of damage from pollution of land with chemical substances (approved by Roskomzem on November 10, 1993 and the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation on November 18, 1993). (in Russian).
12. Methodology of damage determination caused by pollution and clogging of land resources in consequence of violations of environmental legislation. Ministry of Environmental Protection and Nuclear Safety, Kyiv, 1998. (in Ukrainian).
13. Goncharuk E.I., Sidorenko I.G. Hygienic valuation of chemical substances in soil. Moscow, 1986. 320 p. (in Russian).
14. Lu M., Tilley B.C. Use of odds ratio or relative risk to measure a treatment effect in clinical trials with multiple correlated binary outcomes: data from NINDS t-PA stroke trial. *Statist. Med.* 2001. Vol.20. P. 1891–1901.
15. Yang Jun-Yuan, Chen Yuming, Zhang Feng-Qin. Stability analysis and optimal control of a hand-foot-mouth disease (HFMD) model. *Journal of Applied Mathematics and Computing*. 2013. Vol. 41 T. 1-2. P. 99–117.
16. Xu Shihe, Chen Yinhui, Bai Meng. Analysis of a time-delayed mathematical model for solid avascular tumor growth under the action of external inhibitors. *Journal of Applied Mathematics and Computing*. 2016. Vol. 52. T. P. 403–415.
17. Hubbard M., Jones P.F., Sleeman B.D. The Foundations of a Unified Approach to Mathematical Modeling of Angiogenesis. *International Journal of Advances in Engineering Sciences and Applied Mathematics*. 2009. 1: 43.
18. Prouvée L., Fernández-Cara E., Optimal control of mathematical models for radiotherapy of gliomas: the scalar case. *Computational and Applied Mathematics*. 2016. Vol. 69. P. 1–18.
19. Introduction to the Use of Regression Models in Epidemiology Ralf Bender, Cancer Epidemiology. v.1. 2009. P. 179–195.
20. Zhonghua Zhang, Yaohong Suo. Qualitative analysis of a SIR epidemic model with a saturated treatment rate. *Journal of Applied Mathematics and Computing*. 2010 (34). T. 1–2. P. 177–194.
21. Bull S.B. Regression models for multiple outcomes in large epidemiological studies. *Static Med.* 1998. Vol. 17. P. 2179–2197.

22. Waleed M., Imran M., Khan A. Stochastic Analysis of an Influenza Epidemic Model. *International Journal of Applied and Computational Mathematics*. 2017 Vol. 3.T.2. P. 425–443.
23. Boutayeb A., Chetouani A., Achouyab A., Twizell E.H. A nonlinear population model of diabetes mellitus. *Journal of Applied Mathematics and Computing*. 2006 Vol. 21. T 1–2. P. 127–139.
24. Biostatistics for Medical and Biomedical Practitioners, 1st Edition. Academic Press, 2015. 770p.
25. Biomedical Informatics. Computer Application in Health Care and Biomedicine, 4th edition. Editors: E. H. Shortliffe, J. J. Cimino. NY, 2014. 965 p.
26. James S.L., Zongyuan M., Xie G.Y. Computational and Statistical Methods for Analyzing Big Data with Applications in 1st Edition. Academic Press, 2015. 206 p.
27. Bhattacharya P.K., Burman P. Theory and Methods of Statistics .1st Edition. Academic Press. 2016. 544 p.
28. Antonomov M.Yu. Mathematical processing and analysis of medical and biological data. Kiev, 2006. 588 p. (in Russian).
29. Pomerantsev A.L. Methods of nonlinear regression analysis for modeling the kinetics of chemical and physical processes Thesis for the degree of Doctor of Physical and Mathematical Sciences. Moscow: 2003. 304 p. (in Russian).
30. Ayvazyan S.A., Yenyukov IS, Meshalkin LD Applied statistics: Investigation of dependencies. Moscow, 1985. 487p. (in Russian).
31. Methodological recommendations for the hygienic substantiation of the MPC of chemical substances in soil No. 2609-82. (Effective from 05.08.1982). Moscow, 1982. 57 p. (in Russian).

Reseived 01.08.2017

ЛИТЕРАТУРА

1. Тюленева В.А., Соляник В.А., Шалугин В.С. К вопросу исследования фильтрации нефти в почвах. *Вісн. КДПУ*. Вип. 2. Ч. 2. 2006. С. 110–112.
2. Рогозина Е.А. Актуальные вопросы проблемы очистки нефтезагрязненных почв. *Нефтегазовая геология. Теория и практика (1)*. 2006. С. 1–10.
3. Білоненко Г.М. Зміни родючості ґрунту при вуглеводневому забрудненні. *Вісн. аграрної науки*. 2002. №10. С. 52–54.
4. Абрамов Ю.О., Грінченко Є.М., Кірючкін О.Ю. Моніторинг надзвичайних ситуацій. Харків, 2005. С. 530.
5. Бойченко С.В. Рациональное использование углеводневых топлив. Монография. Киев, 2001. С. 216.
6. Оборин А.А. Нефтезагрязненные биогеоценозы. Монография. УрО РАН. Пермь, 2008. С. 511.
7. Шевченко О.А. Кулагін О.О. Вивчення стабільності нафтопродуктів у чорноземі типовому. Матеріали науково-практичної конференції з міжнародною участю «Профілактична медицина: здобутки сьогодення та погляд у майбутнє» 19–20 травня, 2016, Дніпропетровськ). Дніпропетровськ, 2016 р. С. 189–190.
8. Солнцева Н.П. Добыча нефти и геохимия природных ландшафтов. Москва, 1998. С. 405.
9. Об утверждении предельно допустимых концентраций нефтепродуктов в землях (включая почвы) для различных категорий земель. Министерство здравоохранения Республики Беларусь. 2012. №17/1.
10. Заходи з рекультивації ґрунтів, забруднених нафтою та нафтопродуктами, необхідно призначити з урахуванням санітарно-гігієнічних норм та оцінки екологічної обстановки території. URL: <http://ekologprom.com/osnovi-prirodooblashtuvannya-ta-zaxistu-navkolishnogo-seredovishha/92-zaxodi-z-rekultivacii-gruntiv-zabrudnenix-naftoyu.html>.
11. Порядок определения размеров ущерба от загрязнения земель химическими веществами (утв. Роскомземом 10ноября 1993 г. и Минприроды РФ 18 ноября 1993 г.).

12. Методика визначення збитку, обумовленого забрудненням і засміченням земельних ресурсів в результаті порушення природоохоронного законодавства. Міністерство охорони навколишнього природного середовища і ядерної безпеки, Київ, 1998.
13. Гончарук Е.И., Сидоренко И.Г. Гигиеническое нормирование химических веществ в почве. Москва, 1986. 320 с.
14. M. Lu, B. C. Tilley. Use of odds ratio or relative risk to measure a treatment effect in clinical trials with multiple correlated binary outcomes: data from the NINDS t-PA stroke trial. *Statist. Med.* 2001. Vol. 20. P. 1891–1901.
15. Jun-Yuan Yang, Yuming Chen, Feng-Qin Zhang. Stability analysis and optimal control of a hand-foot-mouth disease (HFMD) model. *Journal of Applied Mathematics and Computing*. 2013. Vol. 41. T. 1–2. P. 99–117.
16. Xu Shihe, Chen Yinhui, Bai Meng. Analysis of a time-delayed mathematical model for solid avascular tumor growth under the action of external inhibitors. *Journal of Applied Mathematics and Computing*. 2016. Vol. 52. T. P. 403–415.
17. Hubbard M., Jones P.F., Sleeman B.D. The foundations of a unified approach to mathematical modeling of angiogenesis. *International Journal of Advances in Engineering Sciences and Applied Mathematics*. 2009. 1:43.
18. Fernández-Cara E., Prouvée L. Optimal control of mathematical models for the radiotherapy of gliomas: the scalar case. *Computational and Applied Mathematics*. 2016. Vol. 69. P. 1–18.
19. Introduction to the Use of Regression Models in Epidemiology Ralf Bender, Cancer Epidemiology. V. 1. 2009. P. 179–195.
20. Zhonghua Zhang, Yaohong Suo. Qualitative analysis of a SIR epidemic model with saturated treatment rate. *Journal of Applied Mathematics and Computing*. 2010. Vol. 34, T. 1–2. P. 177–194.
21. Bull S.B. Regression models for multiple outcomes in large epidemiologic studies. *Statist. Med.* 1998. Vol.17. P. 2179–2197.
22. Waleed M., Imran M., Khan A. Stochastic Analysis of an Influenza Epidemic Model. *International Journal of Applied and Computational Mathematics*. 2017. Vol. 3. T.2. P. 425–443.
23. Boutayeb A., Chetouani A., Achouyab A., Twizell E.H. A non-linear population model of diabetes mellitus. *Journal of Applied Mathematics and Computing*. 2006. Vol. 21. T. 1–2. P. 127–139.
24. Hoffman J. Biostatistics for Medical and Biomedical Practitioners ,1st Edition. Academic Press, 2015. 770 p.
25. Biomedical Informatics. Computer Application in Health Care and Biomedicine, 4th edition. Editors: E. H. Shortliffe, J. J. Cimino. NY, 2014. 965 p.
26. James S.L., Zongyuan M., Xie G.Y. Computational and Statistical Methods for Analysing Big Data with Applications 1st Edition. Academic Press, 2015. 206 p.
27. Bhattacharya P.K., Burman P. Theory and Methods of Statistics .1st Edition. Academic Press, 2016. 544 p.
28. Антономов М.Ю. Математическая обработка и анализ медико-биологических данных. Киев, 2006. 558с.
29. Померанцев А.Л. Методы нелинейного регрессионного анализа для моделирования кинетики химических и физических процес сов. Диссертация на соискание ученой степени доктора физико-математических наук. Москва, 2003г. 304 с.
30. Айвазян С.А, Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. Прикладная статистика: Исследование зависимостей. Москва, 1985. 487с.
31. Методические рекомендации по гигиеническому обоснованию ПДК химических веществ в почве №2609-82. (Действующие от 05.08.1982). Москва, 1982. 57 с.

Получено 01.08.2017

*М.Ю. Антомонов*¹, д-р.біол. наук, проф.,
голов. наук. співроб. лаб. епідеміологічних досліджень
і медичної інформатики,
e-mail: antomonov@gmail.com

*О.А. Шевченко*², д-р мед. наук, проф.,
зав. Наукового центру Державного університета
«Дніпропетровська медична академія МОЗ України»
e-mail: toxysan@ukr.net

*О.О. Кулагін*³, канд.мед. наук,
проф. кафедри гігієни і екології,
e-mail: kulagin111188@ukr.net

¹ ДУ «Інститут громадського здоров'я
ім. А.Н. Марзєєва НАМН України»,
вул. Попудренко, 50, м. Київ, 02660, Україна

² Науковий центр Державного університета
«Дніпропетровська медична академія МОЗ України»,
вул. Вернадського, 9, м. Дніпро, 49027, Україна

³ «Дніпропетровська медична академія МОЗ України»
Соборна пл., 4, м. Дніпро, 49027, Україна

АЛГОРИТМИ БАГАТОФАКТОРНОГО РЕГРЕСІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ В ЕКОЛОГО-ГІГІЄНИЧНИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ

Запропоновано алгоритм побудови багатофакторних нелінійних регресійних моделей, який складається з ієрархічно організованих етапів: графічного аналізу, вибору виду часткових математичних моделей, чисельного розрахунку їх параметрів і подальшої згортки в загальну математичну модель. Представлено результати експериментального дослідження впливу на схожість найважливішої сільськогосподарської культури — пшениці, одного з видів нафтопродуктів (дизельного палива) за умови його попадання у ґрунт. Показано, що математична модель, яка описує процес пригнічення росту пшениці, повинна бути багатофакторною функцією («час — вплив — ефект»), що має нелінійний характер. Розроблено та наведено алгоритм розрахунку параметрів для багатофакторної нелінійної функції. За експериментальними даними на основі запропонованого алгоритму було побудовано адекватну багатофакторну нелінійну математичну модель і розраховано всі її параметри. За її допомоги встановлено порогову величину концентрації дизельного палива, яка не впливає на схожість пшениці.

Ключові слова: нафтопродукти, забруднення навколишнього середовища, порогові концентрації, математичне моделювання, нелінійні багатофакторні регресійні моделі.

М.Ю. Антомонов¹, д-р биол. наук, проф.,
глав. науч. сотр. лаб. эпидемиологических исследований
и медицинской информатики,
e-mail: antomonov@gmail.com

А.А. Шевченко², д-р мед. наук, проф., зав. Научным
центром Государственного университета
«Днепропетровская медицинская академия МЗ Украины»,
e-mail: toxysan@ukr.net

А.А. Кулагин³, канд.мед. наук,
проф. кафедры гигиены и экологии
e-mail: kulagin11188@ukr.net

¹ ГУ «Институт общественного здоровья
им. А.Н. Марзеева НАМН Украины»,
ул. Попудренко, 50, г. Киев, 02660, Украина

² Научный центр Государственного университета
«Днепропетровская медицинская академия
МЗ Украины», ул. Вернадского, 9, г. Днепр, 49027, Украина

³ «Днепропетровская медицинская академия
МЗ Украины», Соборная площадь, 4, г. Днепр, 49027, Украина

АЛГОРИТМЫ МНОГОФАКТОРНОГО РЕГРЕССИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ЭКОЛОГО-ГИГИЕНИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Предложен алгоритм построения многофакторных нелинейных регрессионных моделей, состоящий из иерархически организованных этапов: графического анализа, выбора вида частных математических моделей, численного расчета их параметров и последующей свертки в общую математическую модель. Представлены результаты экспериментального исследования влияния одного из видов нефтепродуктов — дизельного топлива, при его попадании в почву на всхожесть важнейшей сельскохозяйственной культуры — пшеницы. Показано, что математическая модель, описывающая процесс угнетения роста пшеницы, должна представлять собой многофакторную функцию («время — воздействие — эффект»), имеющую нелинейный характер. Разработан и представлен алгоритм расчета параметров многофакторной нелинейной функции. По экспериментальным данным на основе предложенного алгоритма была построена адекватная многофакторная нелинейная математическая модель и рассчитаны все ее параметры. С ее помощью установлена пороговая величина концентрации дизельного топлива, не влияющая на всхожесть пшеницы.

Ключевые слова: нефтепродукты, загрязнение окружающей среды, пороговые концентрации, математическое моделирование, нелинейные многофакторные регрессионные модели.

DOI: <https://doi.org/10.15407/kvt190.04.073>

УДК 612.821+613.8

В.В. КАЛЬНИШ¹, д-р біол. наук, проф.,
зав. лабораторії психофізіології праці

e-mail: vkalnysh@ukr.net

Р.О. СТАСИШИН¹, аспірант

e-mail: rokstasysyn@gmail.com

М.О. ОЛІСКЕВИЧ², д-р економ. наук, канд. фіз.-мат. наук, доцент,
проф. кафедри математичної економіки та економетрії,
механіко-математичний факультет
e-mail: olisk@ukr.net

¹ ДУ «Інститут медицини праці НАМН України»,
вул. Саксаганського, 75, м. Київ, 01033, Україна

² Львівський національний університет ім. Івана Франка,
вул. Університетська 1, м. Львів 79000, Україна

МОДЕЛЬ ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ЕМОЦІЙНОЇ РЕГУЛЯЦІЇ ПРОФЕСІЙНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ПРАЦІВНИКІВ ЗА УМОВИ РОБОТИ З ПІДВИЩЕНОЮ НЕБЕЗПЕКОЮ

Розроблено концепцію моделювання, засновану на застосуванні багатофакторної регресійної пробіт моделі. Це дозволяє оцінювати вірогідність ризику погіршення якості емоційної регуляції для конкретного працівника на основі інформації про його емоційний стан. Статистично значущий вплив на ризик погіршення емоційного стану працівника мають характеристики відчуття сили і енергії, імпульсивної реактивності та рівня психічної депресії. Підвищення імпульсивної реактивності працівника зумовлює збільшення ризику критичного погіршення якості емоційної регуляції. Встановлено, що вплив цього чинника є сильнішим в порівнянні з впливом рівня психічної депресії. Показано, що приналежність до різних вікових груп не є суттєвим фактором, який впливає на ризик погіршення якості емоційної регуляції слюсарів оперативно-виїзних бригад на підприємствах електроенергетичної галузі.

Ключові слова: регресійна пробіт модель, емоційний стан, слюсарі оперативно-виїзної бригади, підвищена небезпека.

ВСТУП

Сьогодні в Україні є низка професій, зокрема в енергетичній сфері, де люди працюють в умовах підвищеної небезпеки. Ці умови накладають на працівника значну кількість обмежень щодо функцій його організму і професійно важливих якостей, що зумовлює появу певних вимог до здійснення професійного

В.В. КАЛЬНИШ, Р.О. СТАСИШИН, М.О. ОЛІСКЕВИЧ, 2017

ISSN 2519-2205 (Online), ISSN 0454-9910 (Print). Киб. и выч. техн. 2017. № 4 (190)

відбору та моніторингу професійно важливих якостей цього фахівця [1]. До того ж, на організм впливає навколишнє середовище, що призводить до посиленої втрати функціональних резервів організму людини, порушуючи баланс між організмом і зовнішнім середовищем, напружуючи його адаптаційні можливості. Перенапруження систем регуляції призводить до виснаження функціональних можливостей організму [2]. Про наявність такої перенапруги свідчать дані [3], в яких констатується, що у працівників електроенергетики в 29,8% випадків розвивається високий рівень гострого стресу і в 72,7% — високий рівень хронічного стресу (оперативний персонал основного підрозділу) і в 43,6% — високий рівень гострого стресу і в 74,4% — високий рівень хронічного стресу (оперативний персонал допоміжного підрозділу). Основними факторами розвитку стресу у оперативного персоналу основного підрозділу є суб'єктивна оцінка професійної ситуації, а у оперативного персоналу допоміжного підрозділу — не тільки суб'єктивна оцінка професійної ситуації, а ще і переживання гострого і хронічного стресу, що призводить до відчутного збільшення загального індексу стресу у цих працівників. Також встановлено, що високий рівень функціональних резервів служить передумовою для зниження напруги механізмів регуляції, необхідних для підтримки гомеостазу [4].

Проблема розвитку професійної стійкості і підтримки емоційного благополуччя у фахівців, які працюють в умовах підвищеної небезпеки, зумовлена багатьма кардинальними змінами, які відбуваються в технічному розвитку сучасного виробництва. Це, частіше за все, пов'язано з непередбачуваністю появи і розвитку техногенних критичних ситуацій. А проте багаторазово посилюється роль людини в їх усуненні та попередженні. Одна з основних вимог до персоналу потенційно небезпечних об'єктів полягає у високому рівні його готовності до роботи в складних ситуаціях. Це передбачає наявність у працівників цих підприємств відповідних професійно важливих якостей, одне з ключових місць серед яких займає емоційна стійкість, яка тісно пов'язана з підтримкою працездатності та уваги за умов виконання відповідальної роботи [5]. Тому таким підприємствам необхідно зосередитися на формуванні надійного психосоціального клімату безпеки, який буде забезпечувати буферизацію ефектів психосоціальної небезпеки на робочому місці, створення умов, сприятливих для психологічного здоров'я працівників, а також формування у них позитивної організаційної поведінки [6]. Показано, що особи, які вірили в свої здібності керувати робочими діями, мали нижчу схильність діяти контрпродуктивно. Вони мали нижчу схильність реагувати з негативними емоціями в стресових умовах, що пом'якшувало згубні наслідки стресу [7]. Обговорюючи проблему готовності до ризику у фахівців небезпечних професій, можна також підтвердити актуальність дослідження питання про роль психологічної підготовки цих працівників [8].

Забезпечення адекватної діяльності персоналу в умовах підвищеної небезпеки є пріоритетним завданням, ефективне виконання якого вимагає не тільки проведення організаційних заходів щодо зниження аварійності, а й створення передумов для реалізації дій, спрямованих на підвищення професійної надійності фахівців. До таких дій в першу чергу належить розвиток психологічного потенціалу працівників, формування адекватної емо-

ційної регуляції та формування культури безпеки персоналу. Важливість такого підходу визначається тим, що людина є виконавцем і резервним компонентом системи безпеки, зобов'язаним париувати критичні і поза-штатні ситуації, які виникають [5].

Численні роботи останніх років, присвячені розробленню заходів щодо підвищення емоційної стійкості фахівця, свідчать про актуальність даного питання. Однак зазначені заходи можна ефективно використовувати тільки за наявності точного інструменту для оцінювання відхилень емоційної сфери працівника від «нормативного» рівня з урахуванням можливих вікових трансформацій цієї сфери та працездатності фахівця [9], оскільки саме така інформація дає досліднику ключ до успішного застосування відповідних відновлювальних процедур, спрямованих на вдосконалення емоційної регуляції поведінки.

Емоційна регуляція поведінки та діяльності — це узагальнюючий теоретичний конструкт, що включає психічні процеси (операції, дії, акти активності), за допомогою яких суб'єкт цілеспрямовано, опосередковано і усвідомлено переводить свій актуальний емоційний стан з неадаптивного в адаптивний [10]. Як наголошує М.М. Кузнєцова [10], емоційна регуляція включає: 1) механізм адаптації індивіда до зовнішніх (насамперед стресових) впливів, 2) механізм динамічної організації емоційного досвіду, 3) параметр самосвідомості та досягнутого рівня особистісного розвитку та 4) цілеспрямований, усвідомлений і опосередкований процес саморегуляції поведінки. Емоційна регуляція всеосяжно охоплює такі феномени емоційної сфери людини, як контроль зовнішніх проявів своїх емоцій [11], формування емоційного ставлення до різних аспектів і явищ дійсності [12], подолання емоційної залежності [13], емпатію [14], керування емоціями (усвідомлене і неусвідомлене) [15], розуміння своїх емоцій та емоцій інших людей [11] тощо. Тому дослідження, спрямовані на оцінювання відхилень від необхідного рівня емоційної регуляції, можна вважати актуальними і своєчасними.

Мета — розроблення способу кількісного оцінювання відхилення від «належного» рівня емоційної регуляції та виявлення на цій основі структури розподілу відповідних реакцій у слюсарів оперативно-виїзних бригад на підприємствах електроенергетики.

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Обстеження працівників підприємств електроенергетичної галузі проведено за допомогою методики СОПАС–8, яку адаптовано для комплексного вивчення психічної стійкості індивідууму до дії факторів екстремальної діяльності [16].

Матеріали психофізіологічних обстежень проаналізовано за допомогою методів варіаційної статистики, багатофакторного дисперсійного аналізу, регресійних моделей бінарного вибору. Кількісні результати отримано з використанням програмного середовища пакета EViews 8.0.

РОБОЧА ГІПОТЕЗА ДОСЛІДЖЕННЯ

Перш ніж підійти до викладу матеріалу досліджень, необхідно зробити кілька важливих зауважень. По-перше, рівень досконалості емоційної регуляції представника досліджуваної професії є дуже важливим параметром, який впливає на успішність його роботи і навіть на здоров'я та життя. Справа в тому, що слюсар оперативно-виїзної бригади має справу з об'єктами підвищеної небезпеки, які перебувають під високою напругою. Тому емоційна стійкість цієї людини грає одну з ключових ролей в забезпеченні надійності його діяльності. Оцінювання стану емоційної регуляції та виділення тих осіб, які успішно впораються з роботою в екстремальних умовах, є важливим завданням моніторингу професійних якостей працівника.

По-друге, в процесі моніторингу доцільно виділити не тих осіб, які виявляють підвищені здібності або за своїми емоційними якостями зовсім не придатні до роботи, а тих хто тривалий час і якісно може виконувати дану роботу. За цих умов моніторинг професійно важливих якостей повинно бути спрямовано на те, щоб відбирати осіб, які за своїми емоційними якостями в найбільшій мірі наближаються до середніх характеристик, властивим особам даної професії.

По-третє, закономірні вікові зміни параметрів людського організму не повинні стосуватися його емоційної сфери, що підтримує стійкість до виконання виробничих завдань. Адже і в 20, і в 60 років працівник повинен якісно виконувати свою роботу, і ті емоційні властивості, які підтримують професійну діяльність, не повинні бути перешкодою в її здійсненні. Тому будь-яке значне відхилення від середнього значення можна визнати несприятливим.

За викладеним доцільно сформулювати робочу гіпотезу: моніторинг професійно важливих якостей фахівця за параметром адекватності емоційної регуляції повинен бути спрямовано на виявлення тих осіб, емоційний статус яких визначено щонайблище до середнього рівня, розрахованого у групі успішних працівників. Відхилення від цього рівня слід вважати несприятливим, необхідно оцінювати ймовірність подібного відхилення і цю оцінку слід використовувати для інформування керівників робіт про наявність певного ризику зриву якісного виконання робіт. Зазначена інформація повинна використовуватися для остаточного відповідального прийняття рішення про допуск фахівця до роботи або здійснення відповідних відновлювальних заходів. Природно, що такий принцип відбору обумовлює виключення механізму стихійного відсіювання видатних людей. Тобто стихійний відбір, який є невідворотно притаманним кожній професії, вже «вибив» з професії тих фахівців, які «геніально» пристосовані для здійснення відповідної діяльності. Наявність в конкретній професійній спільноті, як і в кожному суспільстві, такого механізму відсіювання видатних людей зумовлено тим, що їх позитивні особливості, як правило, зчеплені з певними людськими недоліками, які в значній мірі визначають процеси формування професійного співтовариства і, в більшості випадків, ведуть до усунення з нього осіб, що відрізняються від середнього рівня за своїми професійними якостями.

З іншого боку, робочі ситуації та інші аспекти життєдіяльності фахівця можуть призвести до тимчасового погіршення його емоційної регуляції.

Тому потрібно проводити моніторинг емоційної сфери працівників та здійснювати, у разі потреби, відновлення їх функціонального стану.

АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ МОНІТОРИНГУ ЕМОЦІЙНОЇ СФЕРИ ПРАЦІВНИКІВ

Для виконання завдань дослідження було опитано на підприємствах електроенергетики 93 електромонтерів оперативно-виїзних бригад різного віку. А саме, досліджено п'ять таких вікових категорій: 1 — особи до 29 років, 2 — особи від 30 до 39 років, 3 — особи від 40 до 49 років, 4 — особи від 50 до 59 років, 5 — особи старші за 60 років. Використання методики СОПАС–8 [16] дало змогу виявити вісім факторів психічного стану: психічний спокій, відчуття задоволеності (P); відчуття сили та енергії (E); прагнення до акцій і бажання дії (A); імпульсивна реактивність (O); психічна депресія та відчуття виснаженості (D); пригнічений настрій (S); відчуття психічного неспокою або обурення, напруження (N); відчуття тривожного очікування, страх, неспокій (V).

Статистичний аналіз результатів обстеження психічного стану працівників. На першому кроці оброблення одержаних результатів проведено аналіз основних статистичних характеристик розподілів значень кожної змінної, зокрема середнє, мінімальне та максимальне значення, медіану, стандартне відхилення, асиметрію та ексцес. Значення статистики Жарка–Бера, які обчислено з метою тестування нормальності розподілу значень показників, свідчать, що усі змінні не є нормально розподіленими, за винятком показника психічного спокою (P). Оцінені значення коефіцієнтів асиметрій вказують на асиметричність розподілу їх значень стосовно середнього значення.

За множиною екзогенних факторів x_1, x_2, \dots, x_k побудовано модель оцінювання ризику критичного погіршення (чи втрати) професійно-важливих якостей (p_i):

$$p_i = f(x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{ki}), \quad i = 1, \dots, N, \quad (1)$$

на основі спостережень $x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{ki}$ ($i = 1, \dots, N$) для N осіб.

У практичних застосуваннях, зокрема під час обстеження психічних актуальних станів, фактичні ймовірності p_i не спостерігаються, тому модель типу (1) необхідно оцінити на підставі спостережуваних даних y_i деякої агрегованої бінарної змінної. Множина пояснюючих змінних у моделі (1) може містити кількісні або бінарні змінні, або обидва типи змінних.

У нашому дослідженні рівня готовності працівників до роботи в складних виробничих ситуаціях множина пояснюючих факторів складається з восьми показників суб'єктивного оцінювання психічних станів та змінної, що визначає вік особи, а саме: $x_1 = P$ — психічний спокій (відчуття задоволеності); $x_2 = E$ — відчуття сили та енергії; $x_3 = A$ — прагнення до акцій і бажання дії; $x_4 = O$ — імпульсивна реактивність; $x_5 = D$ — психічна депресія та відчуття виснаженості; $x_6 = S$ — пригнічений настрій; $x_7 = N$ — відчуття психічного неспокою або обурення, напруження; $x_8 = V$ — відчуття тривожного очікування, страх, неспокій; $x_9 = AGE$ — вік особи.

Бінарну залежну змінну у визначаємо на основі агрегування відхилень факторів від їх середніх значень. Для цього для кожного психологічного показника визначаємо ряд відхилень від середнього ($x_k - x_k^{\text{mean}}$), де x_k^{mean} позначає середнє значення k -го фактора. Обчислені середні значення цих рядів відхилень дорівнюють нулю, а дисперсії є досить близькими. Результати дисперсійного аналізу, проведеного на основі порівняння дисперсій рядів відхилень за низкою статистичних тестів (Bartlett Statistic, Levene Statistic, Brown-Forsythe Statistic), засвідчують статистичну рівність дисперсій побудованих рядів. Отож, ми можемо зробити висновок про певну однорідність рядів відхилень зі статистичної точки зору.

Проведені статистичні дослідження дають підстави для формування агрегованого показника, який характеризуватиме узагальнене відхилення від середнього. Тому побудуємо ряд, який характеризує середнє значення відповідних відхилень:

$$\text{Deviation} = [(P - P^{\text{mean}}) + (E - E^{\text{mean}}) + (A - A^{\text{mean}}) + (O - O^{\text{mean}}) + (N - N^{\text{mean}}) + (V - V^{\text{mean}}) + (D - D^{\text{mean}}) + (S - S^{\text{mean}})] / 8. \quad (2)$$

Розраховане значення статистики Жарка-Бера (Jarque-Bera = 4,2) та обчислений відповідний їй рівень значущості (probability = 0,12) засвідчують нормальність розподілу побудованого агрегованого показника.

Отже, визначимо змінну — індикатор ризику втрати професійних важливих якостей Y , яка набуває значення 1, якщо абсолютне значення агрегованого відхилення (*Deviation*) перевищує середньо-квадратичне відхилення емпіричного розподілу, і 0 в протилежному випадку. Відтак значення 1 вказує на можливість наявності ризику професійної непридатності для відповідного працівника, а значення 0 — на певну відсутність такого ризику. Для вибірки даних, яка складається з 93 спостережуваних осіб — слюсарів оперативно-виїзних бригад, значення 1 отримано для 74% осіб та значення 0 — для 26% осіб.

Для того, щоб оцінити рівень ризику для кожної особи та сформувати шкалу ступеня ризикованості, побудуємо багатофакторну регресійну модель бінарного вибору, яка враховує й оцінює вплив кожного з обстежених психологічних факторів на ризик набуття професійної непридатності.

Припускаємо, що ризик (ймовірність) p_i у моделі (1) є функцією, яка залежить від множини пояснюючих змінних $x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{ki}$ та випадкового фактора u_i , який може позначати похибку вимірювання чи певні суб'єктивні стохастичні чинники, що випадково впливають на результати обстеження:

$$p_i = \text{Prob}\{Y_i = 1\} = F(X'_i \beta + u_i), \quad (3)$$

де $F(\cdot)$ — деяка функція, область значень якої належить відріzk [0;1]; X — матриця спостережуваних екзогенних змінних — факторів; β — вектор невідомих параметрів моделі, які необхідно оцінити. В якості функції $F(\cdot)$ можна використати функцію розподілу деякої випадкової величини. Найчастіше використовують функцію стандартного нормального розподілу:

$$F(z_i) = \Phi(z_i) = 1/(2\pi)^{1/2} \int \exp(-1/2 (z_i)^2) dz_i, \quad (4)$$

або функцію логістичного розподілу:

$$F(z_i) = \exp(z_i) / (1 + \exp(z_i)) = 1 / (1 + \exp(-z_i)). \quad (5)$$

Відповідно ймовірність нульового ризику оцінюється як

$$\text{Prob}\{Y_i = 0\} = 1 - F(X_i' \beta). \quad (6)$$

Обидві функції, як функція розподілу стандартної нормально розподіленої змінної (4), так як і логістична функція (5), здійснюють відповідну трансформацію значення $X_i' \beta$ для того, щоб оцінена ймовірність набувала значення між нулем і одиницею.

У нашому дослідженні специфікацію бінарного вибору (3) ми використовуємо для моделювання деякої латентної (прихованої) змінної, яка визначає ступінь погіршення емоційної регуляції організму працівника, його готовності до екстрених дій, до роботи в складних виробничих ситуаціях. Неспостережувана латентна змінна u^* залежить від групи факторів $x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{ki}$, а саме:

$$y_i^* = F(\beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \dots + \beta_k x_{ki} + u_i), \quad (7)$$

де u_i – випадкові суб'єктивні чинники (випадкова похибка). Сформована внаслідок агрегування спостережувана залежна змінна Y визначається як

$$Y_i = \begin{cases} 1, & \text{якщо } y_i^* > 0, \\ 0, & \text{якщо } y_i^* \leq 0. \end{cases} \quad (8)$$

Відтак, ми спостерігаємо значення $Y = 1$, якщо неспостережувана змінна u^* перевищує порогове значення 0. Тоді:

$$\text{Prob}\{Y_i = 1 | X_i, \beta\} = \text{Prob}\{y_i^* > 0\} = \text{Prob}\{X_i' \beta + u_i > 0\} = 1 - F_u(-X_i' \beta), \quad (9)$$

де F – відповідна кумулятивна функція розподілу випадкової похибки u .

Емпіричні результати моделювання. У емпіричному моделюванні найчастіше використовують пробіт специфікацію моделі (з функцією розподілу нормального стандартного розподілу), логіт специфікацію (з логістичною функцією) або гомпіт специфікацію. На основі наявних спостережень оцінено параметри логіт та пробіт моделей вигляду

$$p_i = F(\beta_0 + \beta_1 P_i + \beta_2 E_i + \beta_3 A_i + \beta_4 O_i + \beta_5 N_i + \beta_6 V_i + \beta_7 D_i + \beta_8 S_i + \beta_9 AGE_i + u_i), i = 1, \dots, 93, \quad (10)$$

використовуючи відповідно функції F виду (4) та (5). Змінну AGE , яка позначає вік особи, включено в модель (10) з метою дослідити значущість та вплив вікового фактору на ефективність емоційного регулювання в умовах професійної діяльності.

Модель бінарного вибору (10) не є лінійною і жодною трансформацією не може бути перетворена на лінійну, тому параметри цієї моделі не можна оцінити за допомогою методу найменших квадратів. Отже, для оцінювання параметрів моделей бінарного вибору (4), (10) та (5), (10) нами використано метод максимальної правдоподібності, який полягає у максимізації ло-

гарифма відповідної функції правдоподібності та у знаходженні на основі ітераційного алгоритму Ньютона-Рафсона значень параметрів, які максимізують цей логарифм.

У Табл. 1, 2 наведено оцінки параметрів багатфакторної пробіт та логіт моделей, поряд з їхніми стандартними похибками, статистиками Стьюдента та ймовірностями (p -значення), які використано для встановлення статистичної значущості кожного психологічного фактора.

Обидві оцінені моделі — і пробіт (табл. 1), і логіт (табл. 2), демонструють подібні результати. Однак, оскільки логарифм функції правдоподібності для пробіт моделі ($\ln L = -30.59$), а також значення коефіцієнта детермінації Мак Фадена (McFadden $R^2 = 0.3503$) є більшими за відповідні значення для логіт моделі ($\ln L = -30.62$, McFadden $R^2 = 0.3496$), то подальший аналіз проводимо на основі пробіт специфікації.

Верифікацію та діагностування розробленої пробіт моделі проведено на основі статистики відношення правдоподібності. Обчислене значення статистики $LR = 32,93$ та відповідне значення ймовірності ($p = 0,0004$) вказують на коректність проведеного моделювання та адекватність побудованої моделі (табл. 2).

Крім того, результати аналізу якості оцінювання на основі розробленої моделі, яка враховує показники емоційного стану працівника P, E, O, S, N, V, D , та моделі, яка їх не враховує і містить лише константу (табл. 3), також виявляють переваги використання пробіт специфікації.

Таблиця 1. Результати оцінювання багатфакторної регресійної пробіт моделі (4), (10)

Ендогенна змінна : Y Метод оцінювання параметрів: Метод максимальної правдоподібності для бінарної пробіт моделі Збіжність досягнуто після 5 ітерацій Метод оцінювання стандартних похибок та коваріацій : Губерта - Уайта				
Екзогенні змінні	Коефіцієнт	Стандартна похибка	t -статистика	p -значення (ймовірність)
$Const$	-0,48	1,04	-0,46	0,64
P	0,06	0,08	0,79	0,43
E	-0,22	0,10	-2,30	0,02
A	0,03	0,08	0,41	0,68
O	0,19	0,06	3,12	0,002
N	0,08	0,08	0,97	0,33
V	-0,10	0,08	-1,31	0,19
D	0,13	0,07	1,87	0,06
S	-0,10	0,07	-1,35	0,18
AGE	0,13	0,15	0,85	0,40
R-квадрат Мак Фадена		0,35	Середнє зал. змінної	0,20
Станд. відхилення зал. змінної		0,41	Станд. відх. регресії	0,34
Інф. критерій Акайке		0,87	Сума квадратів залишків	9,70
Критерій Шварца		1,15	Логарифм правдоподібності	-30,59
Критерій Ханнана-Куїна		0,98	Спостереження з $Y=0$	74
LR статистика		32,99	Спостереження з $Y=1$	19
p -значення LR статистики		0,0001	Всього спостережень	93

Таблиця 2. Результати оцінювання багатофакторної регресійної логіт моделі (5), (10)

Ендогенна змінна : Y Метод оцінювання параметрів: Метод максимальної правдоподібності для бінарної логіт моделі Збіжність досягнуто після 7 ітерацій Метод оцінювання стандартних похибок та коваріацій : Губерта-Уайта				
Екзогенні змінні	Коефіцієнт	Стандартна похибка	t -статистика	p -значення (ймовірність)
$Const$	-1,34	2,24	-0,60	0,55
P	0,14	0,14	0,96	0,34
E	-0,42	0,20	-2,15	0,03
A	0,09	0,18	0,47	0,64
O	0,31	0,10	3,04	0,002
N	0,13	0,16	0,84	0,40
V	-0,16	0,14	-1,14	0,26
D	0,22	0,13	1,75	0,08
S	-0,16	0,13	-1,30	0,19
AGE	0,02	0,03	0,71	0,48
R-квадрат Мак Фадена		0,35	Середнє зал. змінної	0,20
Станд. відхилення зал. змінної		0,41	Станд. відх. регресії	0,34
Інф. критерій Акайке		0,87	Сума квадратів залишків	9,54
Критерій Шварца		1,15	Логарифм правдоподібності	-30,62
Критерій Ханнана-Куїна		0,98	Спостереження з $Y=0$	74
LR статистика		32,93	Спостереження з $Y=1$	19
p -значення LR статистики		0,0001	Всього спостережень	93

Таблиця 3. Результати діагностування розробленої багатофакторної пробіт моделі

Очікувані прогнозовані оцінки для бінарної специфікації						
Критичне значення: $C = 0.5$						
	Розроблена модель			Модель сталої ймовірності		
	$Y=0$	$Y=1$	Всього	$Y=1$	$Y=0$	Всього
Prob { $Y=1$ } < C	71	12	83	74	19	93
Prob { $Y=1$ } > C	3	7	10	0	0	0
Всього	74	19	93	74	19	93
Коректні	71	7	78	74	0	74
% коректних	95,95	36,84	83,87	100,00	0,00	79,57
% некоректних	4,05	63,16	16,13	0,00	100,00	20,43
Відсоток переваги		36,84	21,05			
	Розроблена модель			Модель сталої ймовірності		
	$Y=0$	$Y=1$	Всього	$Y=0$	$Y=1$	Всього
$E [Y=0]$	64,44	9,56	74,00	58,88	15,12	74,00
$E [Y=1]$	9,56	9,44	19,00	15,12	3,88	19,00
Всього	74,00	19,00	93,00	74,00	19,00	93,00
Коректні	64,44	9,44	73,89	58,88	3,88	62,76
% коректних	87,09	49,71	79,45	79,57	20,43	67,49
% некоректних	12,91	50,29	20,55	20,43	79,57	32,51

Таблиця 4. Результати дослідження адекватності оцінювання ризику втрати професійної придатності з урахуванням різних вікових категорій на основі тесту Ендрю

Оцінювання адекватності бінарної специфікації – тест Ендрю					
Групування стосовно AGE					
Вікова категорія (Age - Value)	Y = 0		Y = 1		Всього Спостережень (Total)
	Фактичні (Actual)	Прогнозовані (Expect)	Фактичні (Actual)	Прогнозовані (Expect)	
1	6	7,27	3	1,73	9
2	17	15,23	4	5,77	21
3	25	24,42	3	3,58	28
4	23	24,22	7	5,78	30
5	3	2,86	2	2,14	5
Статистика Ендрю		6,74	p-значення ($\chi^2[5]$)		0,24

Таблиця 5. Результати оцінювання груп ризику втрати професійно важливих якостей

Тест Госмера – Лемешова								
Групування стосовно прогнозованого ризику								
Група	Квантилі ризику		Y = 0		Y = 1		Всього Obs	H-L статисти- ка Value
	Low	High	Actual	Expect	Actual	Expect		
1	0,002	0,006	9	8,96	0	0,04	9	0,04
2	0,008	0,018	9	8,88	0	0,12	9	0,13
3	0,019	0,031	8	8,77	1	0,23	9	2,73
4	0,033	0,061	10	9,57	0	0,43	10	0,45
5	0,069	0,098	8	8,26	1	0,74	9	0,10
6	0,101	0,168	8	7,83	1	1,17	9	0,03
7	0,170	0,243	9	7,99	1	2,01	10	0,64
8	0,246	0,346	5	6,35	4	2,65	9	0,97
9	0,351	0,493	5	5,22	4	3,78	9	0,02
10	0,522	0,990	3	2,17	7	7,83	10	0,40
Всього			74	74,00	19	19,00	93	5,50
H-L статистика			5,50		p-значення ($\chi^2[8]$)		0,70	

Проведемо також аналіз спроможності моделі коректно оцінювати ймовірність втрати якості емоційної регуляції та відповідно прогнозувати ризик критичного погіршення цієї якості. Відповідні тестування виконано за допомогою тесту Ендрю (Andrews goodness-of-fittests), ідея якого полягає у порівнянні фактичних та прогнозованих значень, при цьому великі відхилення вказують на незадовільність та неадекватність моделі.

Аналіз властивостей моделі під час оцінювання ризику проведено з урахуванням віку обстежуваних (табл. 4). Обчислене значення статистики (Andrews Statistic = 6,7420) та відповідне їй значення рівня значущості (p-value = 0,2405) засвідчують адекватність проведеного оцінювання ризиків втрати професійної придатності. Зазначимо, що модель дає змогу коректно оцінювати ризики для усіх вікових категорій.

Побудована модель також дає змогу провести групування та оцінити квантилі інтервалів ризиків на основі тестів Госмера-Лемешова (Hosmer-Lemeshow goodness-of-fittests) (табл. 5). Проведений аналіз свідчить про адекватність розбиття (H-L Statistic = 5,50; p-value $\{\chi^2[8]\}$ = 0.70) та коректність оцінювання ризику на кожному з інтервалів.

Змістовний аналіз отриманих результатів. Дослідження статистичної значущості впливу кожного окремого чинника на ймовірність ризику втрати необхідної якості емоційної регуляції проведемо на основі статистик Стьюдента та Вальда. Результати оцінювання (табл. 5) дозволили виявити, що статистично значущими є такі психологічні фактори, як E , O та D , тоді як A , P , N , V та S не мають суттєвого впливу та загалом не погіршують ефективність емоційної регуляції. Зазначимо, що коефіцієнт біля змінної E є статистично значущим і негативним, що свідчить про те, що збільшення значення фактора, який вимірює відчуття сили та енергії, приводить до зменшення ймовірності ризику зниження якості емоційної регуляції. Водночас коефіцієнти біля змінних O і D є статистично значущими та додатними, що свідчить про те, що збільшення імпульсивної реактивності чи відчуття виснаженості та наявності високого рівня психічної депресії у працівників зумовлюють зростання ймовірності ризику, критично знижують надійність персоналу та його готовність у випадку екстрених дій. Водночас такі фактори як психічний спокій, відчуття задоволеності (P), прагнення до акцій і бажання дії (A), пригнічений настрій (S), відчуття психічного дискомфорту або обурення, напруження (N), відчуття тривожного очікування, страх, неспокій (V) статистично значущо не змінюють ризику критичного погіршення якості емоційної регуляції та рівня готовності працівників до роботи, зокрема у складних виробничих ситуаціях. Зауважимо також, що змінна, яка характеризує вік особи, не є статистично значущою, відтак належність до різних вікових груп не є суттєвим чинником, що впливає на ризик погіршення якості емоційної регуляції для працюючих слюсарів оперативно-виїзних бригад.

Для моделей бінарного вибору стандартні похибки і t -відношення обчислено за методом Губерта–Уайта. Однак, інтерпретація оцінених числових значень коефіцієнтів не є подібною до моделі лінійної ймовірності.

Зокрема для розробленої логіт моделі неправильно зазначати, що одиничне зростання фактора x спричиняє $\beta\%$ зростання ймовірності, оскільки ймовірність не є лінійною функцією спостережуваних факторів. Для того, щоб одержати коректний взаємозв'язок між окремих чинником x_j і ймовірністю p , потрібно здиференціювати функцію F за змінною x_j і помножити на відповідне оцінене значення коефіцієнта β_j .

Відтак, граничний ефект впливу фактора x_j на значення ризику обчислимо за формулою

$$\beta_j F'(X'\beta) = \beta_j p(X'\beta), \quad (11)$$

де $p(\cdot)$ — густина нормального розподілу. Зазначимо, що для розробленої багатофакторної пробіт моделі, на відміну від лінійної моделі, отримані граничні ефекти не є сталими і залежать від значення усіх факторів. Відтак, граничні зміни обчислено за середніх значень пояснюючих змінних.

Отже, за формулою (11) оцінено величини впливу змін у виявлених значущих факторах E , O та D за умови середніх значень та незмінності усіх інших факторів. Крім того, визначено значення граничних впливів цих факторів на ризик окремо для осіб різних вікових категорій.

Результати моделювання засвідчують, що для працівників із середніми значеннями факторів, проте з низьким значенням E (низький рівень відчуття сили та енергії) незалежно від вікової групи спостерігається значний

ступінь ризику втрати професійних важливих якостей, тоді як для значень E , що перевищують 18, такий ризик практично відсутній.

Проведене моделювання також виявляє, що у працівників із середнім значенням інших факторів при підвищенні показника D (відчуття виснаженості та психічна депресія) на два пункти ймовірність ризику підвищується приблизно на 15–25%, при цьому точне значення залежить від початкового рівня D і зростає в міру його підвищення. Зазначимо, що цей висновок є правильним для осіб різних вікових категорій.

Підвищення імпульсивної реактивності працівника (O) також зумовлює збільшення ризику критичного погіршення ефективності професійної діяльності, крім того крива граничних ефектів фактора O є стрімкішою порівняно з кривою граничних ефектів фактора D , що свідчить про те, що вплив чинника, який характеризує імпульсивну реактивність, є дещо сильнішим за вплив чинника D , що характеризує психічну депресію та відчуття виснаженості, та швидше збільшує шанси негативного результату стосовно втрати професійної придатності. Подібні результати отримано для усіх вікових груп працівників.

Розроблена багатофакторна регресійна пробіт модель (5), (10) дає змогу оцінювати ймовірність ризику втрати професійно важливих якостей для кожного конкретного працівника на основі інформації про спостережувані значення факторів його психічного стану P, E, A, O, N, V, D, S та віку.

Відповідно, ймовірність ризику втрати ПВЯ для працівника розраховується за формулами:

$$Risk = \Phi(z_i) = 1/(2\pi)^{1/2} \int \exp(-1/2 (z_i)^2) dz_i, \quad (12)$$

$$Z = -1.34023 + 0.1369*P - 0.4207*E + 0.0854*A + 0.3072*O + 0.1339*N - 0.1595*V + 0.2206*D - 0.1646*S + 0.0211*AGE. \quad (13)$$

Проведене нами дослідження обґрунтовує методику оцінювання ризику критичного погіршення якості емоційної регуляції фахівців. Для визначення ступеня ризику для окремого працівника необхідно:

1) за результатами психофізіологічного обстеження за допомогою СОПАС-8 визначити значення восьми факторів психічного стану: психічний спокій, відчуття задоволеності (P); відчуття сили та енергії (E); прагнення до акцій і бажання дії (A); імпульсивна реактивність (O); психічна депресія та відчуття виснаженості (D); пригнічений настрій (S); відчуття психічного дискомфорту або обурення, напруження (N); відчуття тривожного очікування, страх, неспокій (V);

2) визначити значення індикатора Z за формулою (13), використовуючи одержані значення факторів психічного стану та вік працівника;

3) за формулою (12), використовуючи таблиці значень функції щільності стандартного нормального розподілу Гауса, обчислити очікувану ймовірність $Risk$, яка характеризує рівень ризику та ступінь погіршення ефективності професійної діяльності.

Отримавши значення $Risk$, можна також оцінити рівень готовності до роботи ($Ready = 1 - Risk$) для конкретного працівника, зокрема у складних виробничих ситуаціях, і приймати рішення щодо його залучення до виконання професійних обов'язків.

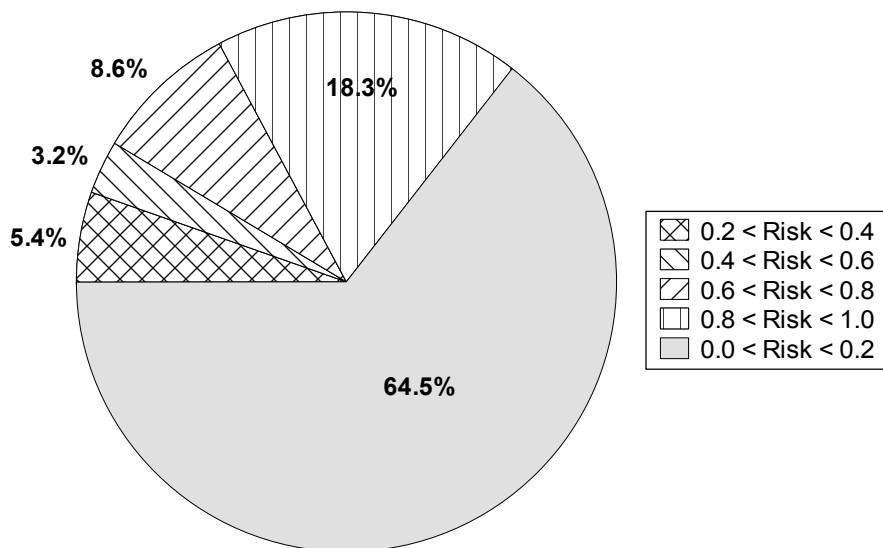


Рис. Розподіл кількості спостережуваних працівників оперативно-виїзних бригад за рівнем ризику значного погіршення якості емоційної регуляції

Отримані результати показали, що майже для половини досліджених працівників рівень ризику менший за 0,1, що свідчить про їх надійність та високу готовність у випадку екстрених дій (Рис.). Визначено, що 89% досліджених слюсарів демонструють рівень ризику втрати ПВЯ менший за 0,5 та очікувану успішність у своїй професійній діяльності. Водночас для понад 5% працівників рівень критичного погіршення професійних якостей перевищує 80%, а для понад 3% працівників ризик втрати ПВЯ навіть більший за 90%, що зумовлює їхню професійну неготовність до роботи у складних виробничих ситуаціях.

ВИСНОВКИ

Встановлено, що статистично значущий вплив на ризик погіршення емоційного стану працівника мають характеристики відчуття сили та енергії, імпульсивної реактивності чи відчуття виснаженості та рівня психічної депресії. Показано, що належність до різних вікових груп не є суттєвим чинником, що впливає на ризик погіршення якості емоційної регуляції слюсарів оперативно-виїзних бригад.

Для працівників із середніми значеннями рівня факторів і з низьким рівнем відчуття сили та енергії (E) незалежно від вікової групи спостерігається значний ступінь ризику погіршення якості емоційної регуляції, тоді як працівників зі значеннями E , що перевищують 18, такий ризик практично відсутній. Водночас у працівників із середнім значенням інших факторів у разі підвищення відчуття виснаженості та психічної депресії (D) на два пункти ймовірність ризику підвищується приблизно на 15–25%, проте точне значення залежить від початкового рівня D і зростає в міру його підвищення.

Підвищення імпульсивної реактивності працівника (O) зумовлює збільшення ризику критичного погіршення якості емоційної регуляції. Встановлено, що крива граничних ефектів фактору O є «стрімкішою» порівняно з кривою граничних ефектів фактору D , що свідчить про дещо сильніший вплив чинника O в порівнянні з впливом чинника D . Підвищення O може викликати ефект пришвидшеного погіршення якості емоційної регуляції незалежно від віку досліджених осіб.

Розроблена концепція моделювання на основі багатфакторної регресійної пробіт моделі дає змогу оцінювати ймовірність ризику погіршення якості емоційної регуляції для кожного конкретного працівника на основі інформації про спостережувані значення факторів його емоційного стану незалежно від віку.

Виявлено, що майже у половини досліджених працівників рівень ризику менший за 0,1, що свідчить про зумовлену їх емоційним станом надійність та високу готовність до виконання екстрених дій. 89% досліджених слюсарів мають ризик погіршення якості емоційної регуляції менший за 0,5. Для понад 5% працівників рівень критичного погіршення якості емоційної регуляції перевищує 80%, а для понад 3% слюсарів оперативно-виїзних бригад ризик погіршення якості емоційної регуляції навіть більший за 90%, що зумовлює їхню неготовність до виконання професійних обов'язків у складних виробничих ситуаціях.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кальниш В.В. Пути совершенствования профессионального психофизиологического отбора и мониторинга профессионально важных качеств специалистов, работающих в условиях с повышенной опасностью. *Український журнал з проблем медицини праці*. 2015. № 4(45). С. 14–25.
2. Фомин Н.В., Козьяков Р.В. Проблемы психологической депривации инженеров-энергетиков, работающих вахтовым методом. *Живая психология*. 2016. Т. 3. № 1. С. 75–82.
3. Костина Ю.С., Миронова Е.Р. Функциональные состояния и адаптация работника. *Universum: Психология и образование: электрон. научн. журн*. 2016. № 6(24). URL: <http://7universum.com/ru/psy/archive/item/3275/>
4. Илюхина В.А. Психофизиология функциональных состояний и познавательной деятельности здорового и больного человека. М.: Н-Л, 2012. 368 с.
5. Горюнова Л.Н., Круглова М.А., Городецкая Е.Н., Бутина Т.Н., Верещагина Л.А., Погребницкая В.Е. Профессиональный стресс: развитие профессиональной устойчивости персонала потенциально опасных объектов. *Петербургский психологический журнал*. 2017. № 18. С. 89–111.
6. Hall G.B., Dollard M.F., Winefield A.H., Dormann C., Bakker A.B. Psychosocial safety climate buffers effects of job demands on depression and positive organizational behaviors. *Anxiety Stress Coping*. 2013. V. 26(4). P. 355–377.
7. Fida R., Paciello M., Tramontano C., Barbaranelli C., Farnese M.L. "Yes, I Can": the protective role of personal self-efficacy in hindering counterproductive work behavior under stressful conditions. *Anxiety Stress Coping*. 2015. V. 28(5). P. 479–499.
8. Гапонова Г.И. Психологическая подготовка инженера пожарной безопасности: о личностных факторах регуляции поведения в ситуациях риска. *Чрезвычайные ситуации: промышленная и экологическая безопасность*. 2014. № 3–4(19–20). С. 10–20.
9. Кальниш В.В., Пашковский С.Н., Стасишин Р.О. Пути совершенствования психофизиологического отбора и мониторинга профессионально важных качеств опера-

- торов. *Український журнал: медицини, біології та спорту*. 2017. № 2(4). С. 149–160.
10. Кузнецова М.М. Особенности эмоционально-волевой регуляции учебной деятельности у студентов с оптимистическим атрибутивным стилем. *Вісник ХНПУ імені Г.С. Сковороди. Психологія*. 2017. Вип. 55. С. 82–102.
 11. Экман П. Психология эмоций. Я знаю, что ты чувствуешь. СПб.: Питер, 2010. 334 с.
 12. Козуб Я.В., Кузнецов М.А. Эмоциональное отношение к учению у студентов с разными видами мотивационной регуляции деятельности. *Науковий Вісник Херсонського державного університету. Серія Психологічні науки*. 2015. Вип. 6. С. 86–93.
 13. Форвард С. Эмоциональный шантаж. М.: АСТ, АСТ Москва, 2005. 320 с.
 14. Долгова В.И., Мельник Е.В. Эмпатия. М.: Изд-во «Перо», 2014. 185 с.
 15. Кэмерон-Бендлер Л., Лебо М. Заложник эмоций. Как спасти вашу эмоциональную жизнь. Воронеж: Издательство НПО «МОДЭК», 1999. 256 с.
 16. Сопов В.Ф. Психические состояния в напряженной профессиональной деятельности. М.: Академический Проект; Триеста, 2005. 128 с.

Отримано 04.09.2017

REFERENCES

1. Kalnysh V.V. Ways of professional psychophysiological selection improving and professionally important qualities monitoring for specialists, which work in increased danger conditions. *Ukrainian Journal of Occupational Health Problems*. 2015. № 4(45). P. 14–25. (in Russian).
2. Fomin N.V., Kosyakov R.V. Problems of psychological deprivation of energy engineers working on a rotational basis. *Living psychology*. 2016. Vol. 3. Issue 1. P. 75–82. (in Russian).
3. Kostina Yu.S., Mironova E.P. Functional states and worker adaptation. *Scientific Journal "Universum: Psychology and Education"*. 2016. N 6(24). URL: <http://universum.com/ru/psy/archive/item/3275>. (in Russian).
4. Iluhina V.A. Psychophysiology of functional states and cognitive activity of a healthy and sick person. Moscow: N-L. 2012. 368 p. (in Russian).
5. Gorunova L.N., Kruglova M.A., Gorodetskaya E.N., Butina T.N., Veretshagina L.A., Pogrebitshkaya V.E. Professional stress: development of staff professional stability for potentially dangerous objects. *Petersburg Psychological Journal*. 2017. № 18. P. 89–111. (in Russian).
6. Hall G.B., Dollard M.F., Winefield A.H., Dormann C., Bakker A.B. Psychosocial safety climate buffers effects of job demands on depression and positive organizational behaviors. *Anxiety Stress Coping*. 2013. V. 26(4). P. 355–377.
7. Fida R., Paciello M., Tramontano C., Barbaranelli C., Farnese M.L. "Yes, I Can": the protective role of personal self-efficacy in hindering counterproductive work behavior under stressful conditions. *Anxiety Stress Coping*. 2015. V. 28(5). P. 479–499.
8. Gaponova G.I. Psychological training of a fire safety engineer: about personal factors of behavioral regulation in risk situations. *Emergencies: industrial and environmental safety*. 2014. № 3–4(19–20). P. 10–20. (in Russian).
9. Kalnysh V.V., Pashkovsky S.M., Stasyshyn R.O. The ways of improving the psychophysiological selection and monitoring of professionally important qualities of operators. *Ukrainian journal of medicine, biology and sport*. 2017. № 2(4). P. 149–160. (in Russian).
10. Kusnezova M.M. Features of emotionally-volitional regulation of educational activity in students with an optimistic attributive style. *Visnik Harkivskogo nacionalnogo pedagogicnogo universitetu imeni G.S. Skovorodi. Psihologia*. 2017. Vol. 55. P. 82–102. (in Russian).
11. Ekman P. Psychology of emotions. I know what you feel. St. Petersburg: Peter. 2010. 334p. (in Russian).
12. Kosub Ya.V., Kusnezov M.A. Emotional attitude to the teaching of students with different types of motivational regulation activity. *Scientific Journal of Kherson State University. Series: Psychological Sciences*. 2015. Vol. 6. P. 86–93. (in Russian).
13. Foruard S. Emotional blackmail. Moscow: AST, AST Moscow. 2005. 320 p. (in Russian).

14. Dolgova V.I., Melnyk E.V. Empathy. Moscow: Publishing house "Pen". 2014. 185 p. (in Russian).
15. Kameron-Bendler L., Lebo M. Hostage emotions. How to save your emotional life. Voronezh: Publishing house of the NGO "MODEK". 1999. 256 p. (in Russian).
16. Sopov V.F. Mental conditions in strenuous professional activity. M.: Academic Project; Triksa. 2005. 128 p. (in Russian).

Received 04.09.2017

В.В. Кальниш¹, д-р биол. наук, проф.,
зав. лабораторией психофизиологии труда
e-mail: vkalnysh@ukr.net

Р.О. Стасишин¹, аспирант
e-mail: rokstasyshyn@gmail.com

М.О. Оліскевич², д-р эконом. наук,
канд. физ.-мат. наук, доцент,
проф. кафедры математической экономики и эконометрики,
механико-математический факультет
e-mail: olisk@ukr.net

¹ ГУ «Институт медицины труда НАМН Украины»
ул. Саксаганского, 75, г. Киев, 01033, Украина

² Львовский национальный университет им. Ивана Франко
ул. Университетская 1, г. Львов, 79000, Украина

МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ЭМОЦИОНАЛЬНОЙ РЕГУЛЯЦИИ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ РАБОТНИКОВ ПРИ РАБОТЕ С ПОВЫШЕННОЙ ОПАСНОСТЬЮ

Разработана концепция моделирования, основанная на применении многофакторной регрессионной пробит модели. Это позволяет оценивать вероятность риска ухудшения качества эмоциональной регуляции для каждого конкретного работника на основе информации о его эмоциональном состоянии. Статистически значимое влияние на риск ухудшения эмоционального состояния работника оказывают характеристики ощущения силы и энергии, импульсивной реактивности и уровня психической депрессии. Повышение импульсивной реактивности работника приводит к увеличению риска критического ухудшения качества эмоциональной регуляции, причем влияние этого фактора более выражено по сравнению с влиянием уровня психической депрессии. Показано, что принадлежность к разным возрастным группам не является существенным фактором, влияющим на риск ухудшения качества эмоциональной регуляции слесарей оперативно-выездных бригад.

Ключевые слова: регрессионная пробит модель, эмоциональное состояние, слесари оперативно-выездных бригад, повышенная опасность.

V.V. Kalnysh¹, Dr (Biology), Professor,
Head of Labor Psychophysiology Laboratory
e-mail: vkalnysh@ukr.net

R.O. Stasyshyn¹, PhD student
e-mail: rokstasyshyn@gmail.com

M.O. Olishevych², Dr (Economics), PhD (Phis & Math), Associate Professor,
Professor at the Department of Mathematical Economics and Econometrics,
Faculty of Mechanics and Mathematics
e-mail: olisk@ukr.net

¹ Institute for Occupational Health of the National Academy
of Medical Sciences of Ukraine

75, Saksagansky str., Kyiv, 01033, Ukraine

² Ivan Franko Lviv National University,

1, Universytetska Str., Lviv, 79000, Ukraine

MODEL OF ESTIMATING THE QUALITY CHARACTERISTICS FOR EMOTIONAL REGULATION OF EMPLOYEES PROFESSIONAL ACTIVITY AT WORK WITH HIGH DANGER

Introduction. There are a number of occupations in Ukraine, including electric power industry occupations, where people work in high-risk conditions. These conditions impose on the workers a significant amount of restrictions on their functions and professionally important qualities, which leads to the emergence of certain requirements in the process of professional selection and monitoring. One of the main requirements to the staff in potentially dangerous objects is the high level of readiness to work in difficult situations. This implies the presence of relevant professional qualities among the employees of these occupations, one of the most important is emotional stability, which closely links with the maintenance of work ability and attention in the conditions of responsible work accomplishing.

The purpose of the article is to develop an approach for quantifying the deviation from the "proper" level of emotional regulation and to identify on this basis the structure of the relevant reactions distribution for locksmiths of operational-outgoing brigades at electric power industry.

Methods. The survey of workers was conducted by means of SOPAS-8 method, which was adapted for a comprehensive study of the individual mental stability to the extreme activity factors impact. According to this method, eight factors of the mental state were identified: mental rest, feeling of satisfaction; strength and energy sensitivity; desire for action; impulsive reactivity; mental depression and exhaustion feeling; depressed mood; mental anxiety or indignation, stress; anxiety and fear feeling. Materials of psycho-physiological observations were analyzed using methods of variation statistics, multivariate analysis, regression binary models.

Results. A modeling concept based on the multi-factor regression probit model was developed. Developed approach allows to estimate the risk of a deterioration in the quality of emotional regulation for each individual employee based on information about the factors observed values for his emotional state regardless of age.

Conclusions. The statistically significant influence on the risk of an employee's emotional state deterioration create the characteristics of strength and energy sensitivity, impulsive reactivity, mental depression and exhaustion feeling levels. Our investigation revealed that belonging to different age groups is not a significant factor to affect the risk of deterioration in the emotional regulation quality for electricians at operational-outgoing brigades.

Keywords: regression probit model, emotional state, electricians, high danger.

THE 20th IFAC WORLD CONGRESS

The 20th World Congress of the International Federation of Automatic Control (IFAC) was held in Toulouse, France, from 9 July to 14 July 2017. More than 3200 attendees from 68 countries of Europe, Asia, America, Africa, Australia and Oceania had registered.

Since the first IFAC World Congress in Moscow in 1960, these congresses took place once per three years in different cities of the world. Each IFAC World Congress is a large, high quality scientific event. It is the world's foremost gathering on automatic control. Congress is the forum of excellence for the exploration of the frontiers in control science and technology, attended by a worldwide audience of scientists and engineers from academy and industry. It offers the most up-to-date and complete view of control techniques, with the widest coverage of application fields. The Congress gives effect to the IFAC mission to promote the science and technology of automatic control, and is unique in the breadth and depths of topics covered.

The International Program Committee (IPC) was responsible for the technical standards of the Congress. A record 4267 contributions were received by the IPC. Reviewing of these papers was conducted under the supervision of the IPC Chairs Prof. D. Dochain (Belgium) and Prof. Henrion (France), and the IPC Vice-Chairs Prof. F. J. Doyle III (USA), Prof. C. Boverie (France), Prof. L. Dugard (France), Prof. T. Samad (USA), Prof. J.-F. Zhang (China), with the help of the nine IFAC Coordinating Committees Chairs, the 40 Technical Committees Chairs (accordingly to all areas represented in IFAC) nearly 200 Technical Associate Editors and 5726 reviewers from world's leading institutions (universities, labs, research centers ...). A total of 2800 rigorously peer reviewed high quality original papers were accepted and included in final Congress program which has been available on-line since 21 April 2017 at: <https://ifac.papercept.net/conferences/conferences/IFAC17/program/>. The acceptance rate for papers was 66.4 %. For comparison, this index at the previous 19th IFAC World Congress which was held in Cape Town (Republic of South Africa) in 2014 was around 76 %. The largest number of the contributions accepted for presenting at the Congress was submitted from France (506). Ukraine was pre-

sented by the one contribution whose authors are all from our country, and also by the one contribution of three authors from Ireland, France and Ukraine.

The technical program of Congress covered the following science and technology areas:

Systems and Signals that include Modelling, Identification and Signal Processing (1.1), Adaptive and Learning Systems (1.2), Discrete Event and Hybrid Systems (1.3), Stochastic Systems (1.4), Networked Systems (1.5);

Design Methods that include Control Design (2.1), Linear Control Systems (2.2), Non-Linear Control Systems (2.3), Optimal Control (2.4), Robust Control (2.5), and Distributed Parameter Systems (2.6);

Computers, Cognition and Communication that include Computers for Control (3.1), Computational Intelligence in Control (3.2), Telematics: Control via Communication Networks (3.3);

Mechatronics, Robotics and Components that include Components and Technologies for Control (4.1), Mechatronics Systems (4.2), Robotics (4.3), and Human Machine Systems (4.4);

Manufacturing and Logistics Systems that include Manufacturing Plant Control (5.1), Manufacturing Modelling for Management and Control (5.2), Enterprise Integration and Networking (5.3), Large Scale Complex Systems (5.4);

Process and Power Systems that include Chemical Process Control (6.1), Mining, Mineral and Metal Processing (6.2), Power and Energy Systems (6.3), Fault Detection, Supervision and Safety of Techn. Processes (6.4);

Transportation and Vehicle Systems that include Automotive Control (7.1), Marine Systems (7.2), Aerospace (7.3), Transportation Systems (7.4) and Intelligent Autonomous Vehicles (7.5);

Bio- and Ecological Systems that include Control in Agriculture (8.1), Biological and Medical Systems (8.2), Modelling and Control of Environmental Systems (8.3), Biosystems and Bioprocesses (8.4);

Social Systems that include Economic, Business and Financial Systems (9.1), Social Impact of Automation (9.2), Control for Smart Cities (9.3), Control Education (9.4) and Technology, Culture and International Stability (9.5).

The daily technical program consisted of the plenary lecture and of 28 parallel oral sessions, four of which were interactive over a five-day period. Each plenary session whose duration was one hour started at 8.30 AM. Each separate technical session included 6 twenty-minute papers. The day closed on Monday, Tuesday and Wednesday at 7.00 PM with two parallel so-called semi-plenary sessions (their duration was 45 minutes).

The following plenary lectures were delivered:

1. Prof. I. Mareels (Australia). Systems Engineering for Water Networks.
2. Prof. K. Y. Pettersen (Norway). Snake Robots: from Biology, through University, toward Industry.
3. Prof. C. Cassandras (USA). Autonomous Mobility in Smart Cities.
4. Dr. C. Champion (France). Pioneering the Future Aerospace.
5. Prof. D. Tilbury (USA). Hybrid Processes for Controlling Cyber-Physical Manufacturing Systems.

Overall this congress was successful making it possible to ensure not only presentations of new research results and fruitful scientific exchanges but also several cultural and social events and excursion to local aerospace venues.

Next the 21st IFAC World Congress will be held in Berlin, Germany, in 2020.

L.S. ZHITECKII, PhD (Engineering),
the participant of the 12th (1993, Sydney, Australia),
13th (1996, San Francisco, USA), 14th (1999, Beijing, China),
15th (2002, Barcelona, Spain), 18th (2011, Milan, Italy),
19th (2014, Cape Town, South Africa)
and 20th (2017, Toulouse, France) IFAC World Congresses;
Acting Head of the Department of Intelligent Automatic Systems.
e-mail: leonid_zhiteckii@i.ua
International Research and Training Center for Information Technologies
and Systems of the National Academy of Sciences of Ukraine
and Ministry of Education and Science of Ukraine,
Acad. Glushkova av., 40, Kiev, 03187, Ukraine

20-й ВСЕСВІТНІЙ КОНГРЕС ІФАК

З 9-го до 14-го липня 2017 р. в Тулузі (Франція) відбувся черговий 20-й Всесвітній конгрес Міжнародної федерації з автоматичного керування (ІФАК). Зареєструвалось понад 3200 учасників з 68 країн Європи, Азії, Америки, Африки, Австралії та Океанії.

З часу першого Всесвітнього конгресу ІФАК у Москві 1960 року ці конгреси відбувалися один раз на три роки в різних містах світу. Кожний Всесвітній конгрес ІФАК — масштабна наукова подія високого рівня. Це найголовніше світове зібрання з автоматичного керування. Конгрес є форумом передового досвіду для вивчення меж в галузі науки і технології керування, в якому бере участь світова спільнота вчених та інженерів з академічних установ та промисловості. Він пропонує якомога повний і сучасний погляд на методи керування з широким охопленням галузей застосування. Конгрес здійснює місію ІФАК з просуванням в життя науки та технологій автоматичного керування і є унікальним за широтою та глибиною питань, які охоплюються його тематикою.

Міжнародний програмний комітет (МПК) був відповідальним за технічні стандарти конгресу. Кількість подань, отриманих МПК, склала рекордні 4267 робіт. Рецензування цих робіт було проведено під наглядом голів МПК проф. D. Dochain (Бельгія), проф. D. Henrion (Франція) та їхніх заступників проф. F. J. Doyle III (США), проф. C. Boverie (Франція), проф. L. Dugard (Франція), проф. T. Samad (США), проф. J.-F. Zhang (Китай), яким допомагали керівники дев'яти координуючих комітетів, 40 керівників технічних комітетів ІФАК (відповідно до всіх науково-технічних галузей, що представлені на ІФАК), близько 200 залучених технічних редакторів та 5726 рецензентів з провідних наукових закладів світу (університетів, лабораторій, дослідницьких центрів тощо). 2800 ретельно прорецензованих високоякісних оригінальних доповідей було прийнято і включено до кінцевої програми конгресу, доступної з 21 квітня цього року на сайті <https://ifac.papercept.net/conferences/conferences/IFAC17/program/>. Співвідношення

прийнятих і надісланих робіт складало 66,4 %. Для порівняння, на попередньому 19-му Всесвітньому конгресі ІФАК, який відбувся у 2014 р. у м. Кейптаун (Південноафриканська Республіка) цей показник складав близько 76%. Найбільша кількість прийнятих робіт (506) надійшла з Франції. Україна була представлена однією доповіддю, всі автори якої є вітчизняними науковцями, та однією доповіддю трьох авторів з Ірландії, Франції та України.

Технічна програма конгресу охоплювала наступні галузі науки і техніки:

1) теорія систем та сигналів, що включає такі напрями досліджень, як моделювання, ідентифікація та оброблення сигналів (1.1), адаптивні системи та системи, що навчаються (1.2), системи з дискретними подіями та гібридні системи (1.3), стохастичні системи (1.4) та мережові системи (1.5);

2) методи синтезу систем керування, що включають такі напрями досліджень, як синтез керування (2.1), лінійні системи керування (2.2), нелінійні системи керування (2.3), оптимальне керування (2.4), робастне керування (2.5) та системи з розподіленими параметрами (2.6);

3) технології та засоби керування (комп'ютери, пізнавальна здатність та засоби зв'язку), що включають такі напрями досліджень і розроблення, як комп'ютери для керування (3.1), обчислювальний інтелект у керуванні (3.2), телематика: керування за допомогою комунікаційних мереж (3.3);

4) мехатроніка, робототехніка та їхні компоненти, що включає такі напрями розроблення, як компоненти та технології для керування (4.1), системи мехатроніки (4.2), робототехніка (4.3) та людино-машинні системи (4.4);

5) виробничі та логістичні системи, що включають такі напрями досліджень і розроблення, як керування виробничими об'єктами (5.1), моделювання виробництва для цілей менеджменту та керування (5.2), інтеграція підприємств та обслуговування мереж (5.3), а також керування великими складними системами (5.4);

6) технологічні та енергетичні системи, що включають такі напрями розроблення, як керування хімічними технологічними процесами (6.1), видобування, оброблення мінералів і металів (6.2), енергетичні системи (6.3), технічна діагностика (виявлення несправностей), спостереження та безпека техн. процесів (6.4);

7) транспортні системи та засоби пересування, що включають такі напрями розроблення, як самохідне керування (7.1), морські системи (7.2), аерокосмічний простір (7.3), транспортні системи (7.4) та інтелектуальні автономні засоби пересування (7.5);

8) біо- та екологічні системи, що включають такі напрями розроблення і досліджень, як керування у сільському господарстві (8.1), біологічні і медичні системи (8.2), моделювання та керування системами, орієнтованими на зовнішнє середовище (8.3), а також біосистеми і біопроцеси (8.4);

9) соціальні системи, що включають такі напрями розробок і досліджень, як економіка, бізнес та фінансові системи (9.1), соціальний аспект автоматизації (9.2), керування для «розумних» міст (9.3), управлінська освіта (9.4), а також технологія, культура та міжнародна стабільність (9.5).

Протягом п'яти днів щоденна технічна програма складалась з пленарної лекції та 28 паралельних усних секційних засідань, чотири з яких були інтерактивними. Кожне пленарне засідання тривалістю одна година починалось о 8.30 ранку. Кожне окреме секційне засідання включало шість

20-хвилинних доповідей. Робочий день у понеділок, вівторок та середу закінчувався о 19.00 двома паралельними так званими напів-пленарними засіданнями (тривалість кожного такого засідання складала 45 хвилин).

Було заслухано наступні пленарні доповіді.

1. Проф. I. Mareels (Австралія). Системна інженерія водопостачальних мереж.
2. Проф. K. Y. Pettersen (Норвегія). Змісподібні роботи: від біології через університет до промисловості.
3. Проф. C. Cassandras (США). Автономне пересування у «розумних містах».
4. Д-р D. Champion (Франція). Новаторство в аерокосмічній галузі.
5. Проф. D. Tilbury (США). Гібридні процеси у керуванні кібер-фізичними виробничими системами.

В цілому конгрес був успішним, що дозволило забезпечити не тільки презентації результатів нових досліджень та плідні наукові обміни, а й кілька культурних та соціальних заходів, а також екскурсію на місцеві аерокосмічні об'єкти.

Наступний 21-й Всесвітній конгрес ІФАК має відбутися у Берліні, Німеччина, 2020 року.

Л.С. ЖИТЕЦЬКИЙ, канд. техн. наук,
учасник 12-го (1993, Сідней, Австралія),
13-го (1996, Сан-Франциско, США), 14-го (1999, Пекін, Китай),
15-го (2002, Барселона, Іспанія), 18-го (2011, Мілан, Італія),
19-го (2014, Кейптаун, Південноафриканська Республіка)
та 20-го (2017, Тулуза, Франція) Всесвітніх конгресів ІФАК;
в.о. зав. відд. інтелектуальних автоматичних систем,
e-mail: leonid_zhiteckii@i.ua
Міжнародний научно-навчальний центр інформаційних технологій
та систем НАН України і МОН України,
пр. Академіка Глушкова, 40, м. Київ, 03187, Україна

Системный указатель статей, опубликованных в 2017 году

Информатика и информационные технологии

- Файнзильберг Л.С. Интерактивный синтез информационных технологий обработки сигналов с локализованной информацией 187
- Gritsenko V.I., Rachkovskij D.A., Frolov A.A., Gayler R., Kleyko D., Osipov E. Neural Autoassociative Memories: A Survey (Гриценко В.И., Рачковский Д.А., Фролов А.А., Гейлер Р., Клейко Д., Осипов Е. Нейросетевая автоассоциативная память: Обзор) 188
- Хорозов О.А. Применение методов нечеткой логики для телемедицинских систем 188
- Orikhovska K.B., Fainzilberg L.S. Comparative Analysis of Estimation Methods of the Physiological Signals Variability (Ориховская К.Б., Файнзильберг Л.С. Сравнительный анализ методов оценки изменчивости физиологических сигналов) 189
- Гриценко В.И., Онищенко И.М. Визначення інформативності параметрів моделі прогнозування ймовірності вибору продукту в умовах «Big Data» 190
- Synytsya K.M. E-Learning Models Analysis for Lifelong Learning (Синица Е.М. Анализ моделей электронного обучения для непрерывного обучения) 190

Интеллектуальное управление и системы

- Павлов В.В., Шенетуха Ю.М., Мельников С.В., Волков А.Е. Интеллектуальное управление: подходы, результаты и перспективы развития 187
- Вовк М.И. Биотехнические системы управления двигательными функциями человека 187
- Аралова Н.И. Исследование на математической модели роли гипоксии, гиперкапнии и гипометаболизма в саморегуляции системы дыхания при внутренних и внешних возмущениях 188
- Zhiteckii L.S., Solovchuk K.Yu. Discrete-Tie Steady-State Control of Interconnected Systems Based on Pseudoinversion Concept (Житецкий Л.С., Соловчук К.Ю. Дискретное управление установившимися состояниями многосвязных систем на основе концепции псевдообращения) 189
- Баловсяк С.В., Одайська Х.С. Автоматичне визначення рівня гаусового шуму на цифрових зображеннях методом виділених областей .. 189

<i>Melnichuk S.V., Gubarev V.F., Salnikov N.N. Using Information Features in Computer Vision for 3D Estimation in Space (Мельничук С.В., Губарев В.Ф., Сальников Н.Н. Использование информационных признаков в системе компьютерного зрения космического аппарата для оценивания положения и ориентации)</i>	190
--	-----

Медицинская и биологическая кибернетика

<i>Коваленко А.С., Козак Л.М., Романюк О.А. Информационные технологии цифровой медицины</i>	187
<i>Кіфоренко С.І. Ієрархічне моделювання — основа технології доклінічних випробувань алгоритмів керування рівнем глікемії</i>	187
<i>Григорян Р.Д., Аксенова Т.В., Дегода А.Г. Компьютерный симулятор механизмов поддержания баланса энергии в клетках человека</i>	188
<i>Руденко А.В., Настенко Е.А., Журба О.А., Носовец Е.К., Шардукова Ю.В., Лазоришенец В.В. Оценка факторов риска при операциях аортокоронарного шунтирования на работающем сердце</i>	188
<i>Вовк М.І., Куцяк О.А., Лаута А.Д., Овчаренко М.А. Інформаційний супровід досліджень динаміки відновлення рухів після інсульту</i>	189
<i>Shvets A.V., Kich A.U. The Decision Support Model for Forecasting of Wounded and Sick Restoration in Hospital Conditions Based on Psychophysiological Data (Швец А.В., Ких А.Ю. Модель поддержки принятия решения для прогнозирования степени восстановления военнослужащих в госпитальных условиях на основе психофизиологических данных)</i>	189
<i>Antomonov M. Yu., Shevchenko A.A., Kulagin A.A. Algorithms of Multifactorial Regression Modeling in Ecological and Hygienic Studies (Антомонов М.Ю., Шевченко А.А., Кулагин А.А. Алгоритмы многофакторного регрессионного моделирования в эколого-гигиенических исследованиях)</i>	190
<i>Кальниш В.В., Стасишин Р.А., Олискевич М.О. Модель оцінювання якості емоційної регуляції професійної діяльності працівників за умови роботи з підвищеною небезпекою</i>	190

Информационные сообщения

<i>Гриценко В.І. 20 років діяльності Міжнародного науково-навчального центру інформаційних технологій та систем</i>	187
<i>80-річчя члена-кореспондента НАН України Володимира Ілліча Гриценка</i>	188
<i>Zhiteckii L.S. The 20th IFAC World Congress (Житецкий Л.С. 20-й Всемирный Конгресс ИФАК)</i>	190

В журнале представлены результаты исследований в области теории и практики интеллектуального управления, информационных технологий, а также биологической и медицинской кибернетики.

Для научных работников, инженеров, аспирантов и студентов вузов соответствующих специальностей.

Требования к рукописям статей

1. Рукопись предоставляется на белой бумаге в двух экземплярах (язык — русский, украинский, английский, 12—16 с.) и электронная версия.

К рукописи прилагаются:

- аннотации — на русском и украинском языках (УДК, фамилия, инициалы автора/ов, название статьи, 5—6 строк текста, ключевые слова), на английском языке (фамилия, инициалы автора/ов, место работы, город, страна, название статьи, текст от 250 слов, с выделением рубрик: введение, цель, результаты, выводы, ключевые слова);

- лицензионный договор;

- сведения об авторе/ах на русском, украинском и английском языках должны включать: ФИО, ученую степень, научное звание, должность, отдел, место работы, почтовый адрес организации, телефон (служ., моб., дом.), E-mail, авторские идентификаторы ORCID или ResearcherID.

2. Текст статьи подается с обязательными рубриками: введение, постановка задачи, цель, результаты, четко сформулированные выводы.

Поданные статьи обязательно направляются на рецензирование ведущим специалистами в данной области.

Структура статьи

УДК. НАЗВАНИЕ. И.О. Фамилия / и. Организация/и. Аннотация (рус., 5—10 строк). Ключевые слова: (5—8 слов). ВВЕДЕНИЕ. ЦЕЛЬ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ. РЕЗУЛЬТАТЫ (1—3 РАЗДЕЛА С НАЗВАНИЯМИ). ВЫВОДЫ.

Список литературы на языке оригинала — в порядке упоминания в тексте, по стандарту ДСТУ 8302: 2015.

Список литературы — перевод источников на английский язык, фамилии и инициалы авторов — транслитерация:

Author A.A. Article. *Journal*, 2000, vol. 1, № 2 pp. 111–112 (in Russian).

Author A.A., Author B.B. *Book*. City : Publisher, 2000. 111 p. (in Russian).

Резюме (укр., 5—10 рядків). Ключові слова (5—8 слів).

Abstract (0,5—0,7 p.): ФИО, Название статьи на английском языке. *Название организации — на английском языке.*

С обязательными рубриками: Introduction. Purpose. Results. Conclusion. Keywords.

Требования к текстовому файлу

Формат файла *.doc, *.rtf. Файл должен быть подготовлен с помощью текстового редактора Microsoft Word 2003.

Используемые стили: шрифт Times New Roman, высота 12 пт, межстрочное расстояние — полуторное. Формат бумаги А4, поля (слева, справа, сверху, внизу) 2 см.

Формулы набираются в редакторе формул **Microsoft Equation Editor 3.0**.

Опции редактора формул — (10,5; 8,5; 7,5; 14; 10). **Ширина формул не более 12 см.**

Рисунки должны быть достаточно качественными, созданы встроенным редактором рисунков Word Picture либо иными Windows-приложениями (в этом случае рисунки должны быть представлены отдельными файлами соответствующих форматов). **Ширина рисунков не более 12 см.**

Таблицы выполняются стандартным встроенным в Word инструментарием «Таблица». **Ширина таблицы не более 12 см.**

В розничную продажу журнал не поступает.

Оформление подписки для желающих опубликовать статьи в нашем журнале обязательно.

Подписка осуществляется:

- ГП «Пресса»: «Каталог видань України», подписной индекс 86598;
- Подписное агенство «Укринформнаука» НАН Украины, подписной индекс 10029, ukrinformnauka@gmail.com,