

Міністерство освіти і науки України

Системні технології

System technologies

4 (135) 2021

Регіональний міжвузівський збірник наукових праць

Засновано у січні 1997 року.

У випуску:

- ПРОГРЕСИВНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ
ТА ОРГАНІЗАЦІЯ СУЧАСНОГО ВИРОБНИЦТВА
- МАТЕМАТИЧНЕ ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ
- СИСТЕМНІ ТЕХНОЛОГІЇ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ ТА КІБЕРБЕЗПЕКА

Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 4 (135). - Дніпро, 2021. – 165с.

ISSN 1562-9945 (Print).

ISSN 2707-7977 (Online).

Редакційна колегія випуску:

Алпатов А.П. - д.т.н., проф. (відп. редактор)
Архипов О.Є. - д.т.н., проф.
Білозьоров В.Є. - д.ф.-м.н., проф.
Бабічев С.А. (Чеська Республіка) - д.т.н., доц.
Єрьомін О.О. - д.т.н., проф.

Прогресивні інформаційні
технології та організація
сучасного виробництва

Гече Ф.Е. - д.т.н., проф., (відп. редактор)
Гуда А.І. - д.т.н., проф.
Гнатушенко Вік.В. - д.т.н., проф.
Скалозуб В.В. - д.т.н., проф.

Математичне
та програмне забезпечення
інтелектуальних систем

Гнатушенко В.В. - д.т.н., проф., (відп. редактор)
Гожий О.П. - д.т.н., проф.
Кіріченко Л.О. - д.т.н., проф.
Светличний Д.С. (Польща) - д.т.н., проф.
Хандецький В.С. - д.т.н., проф.

Системні технології
обробки інформації
та кібербезпека

Збірник друкується за рішенням Вченої Ради
Національної металургійної академії України
від 22.01.2021 р., № 1

Адреса редакції: 49600, Дніпро, пр. Гагаріна, 4
Національна металургійна академія України,
кафедра Інформаційних технологій та систем.
Тел. +38(056)7135256
E-mail: st@nmetau.edu.ua
<https://journals.nmetau.edu.ua/index.php/st>

© Національна металургійна академія України,
ІВК «Системні технології», 2021

С.В. Аджамський, Р.В. Подольський, Г.А. Кононенко

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ШОРСТКОСТІ НА ВЛАСТИВОСТІ ЗРАЗКІВ ЗІ СТАЛІ AISI 316L МЕТОДОМ РЕЄСТРАЦІЇ МАКРОЛОКАЛІЗАЦІЙНИХ ПОЛІВ

Анотація. Селективне лазерне плавлення - один із сучасних методів виготовлення деталей у виробництві машинобудівної техніки, особливе місце займають складні технологічні процеси, які застосовуються при виготовленні високонавантажених вузлів пневмогідравлічної системи з жароміцних сплавів. Дослідження проводились на зразках, виготовлених з порошкового матеріалу - нержавіюча сталь AISI 316L мартенситного класу. Випробування для визначення механічних властивостей проводили відповідно до ISO 6892 на випробувальній машині INSTRON. Контроль шорсткості робочої поверхні проводився за допомогою прибору BioBase. За результатами досліджень мікроструктури та досліджень методом реєстрації макролокалізаційних полів робочої зони зразків встановлено, що руйнування починалося з поверхні зразків від мікроконцентраторів через різну шорсткість.

Ключові слова: селективне лазерне плавлення, шорсткість, механічні властивості, пористість, AISI 316.

Вступ. Селективне лазерне плавлення - один із сучасних методів виготовлення деталей і вузлів складної геометрії, які складно або неможливо відтворити в умовах традиційного виробництва. Технологія вибіркового лазерного плавлення дозволяє в кілька разів скоротити час і кількість технологічних операцій, а число необхідного основного обладнання, чисельність якого вимірюється в десятках - зменшити до декількох одиниць. У виробництві машинобудівної техніки особливе місце займають складні технологічні процеси, які застосовуються при виготовленні високонавантажених вузлів пневмогідравлічної системи з жароміцних сплавів.

Постановки мети і завдань дослідження. Процес руйнування є заключною стадією поведінки металу під навантаженням, а опір, який метал надає розвитку цьому процесу, в значній мірі визначає його конструкційну міцність. До числа найбільш загальних видів руйнування відноситься в'язке і крихке

руйнування металів. В'язке руйнування, якому передують значна пластична деформація, є більш характерним для металів, ніж крихке.

Методика проведення досліджень. Дослідження проводились на зразках виготовлених з порошкового матеріалу. Друк зразків проводився на 3D принтері Alfa-280 виробництва компанії ТОВ «АЛТ Україна» [1]. Матеріалом, використаним в цьому дослідженні, була нержавіюча сталь мартенситного класу 316L з розміром частинок від 10 до 45 мкм. Хімічний склад порошку 316L в % по масі: Cr=17,79; Ni=12,63; Mo=2,35; Mn=0,78; Si=0,64; C=0,016. Випробування для визначення механічних властивостей проводили відповідно до ISO 6892 на випробувальній машині INSTRON при стабільній швидкості ходової траверси 2 мм/с. Контроль шорсткості робочої поверхні проводився за допомогою прибору BioBase.

Вихідний матеріал був досліджений за допомогою растрового електронного мікроскопа РЕМ-106 (рис. 1, а) для визначення форми і розмірів частинок. На рис. 1, б наведено результати аналізу.

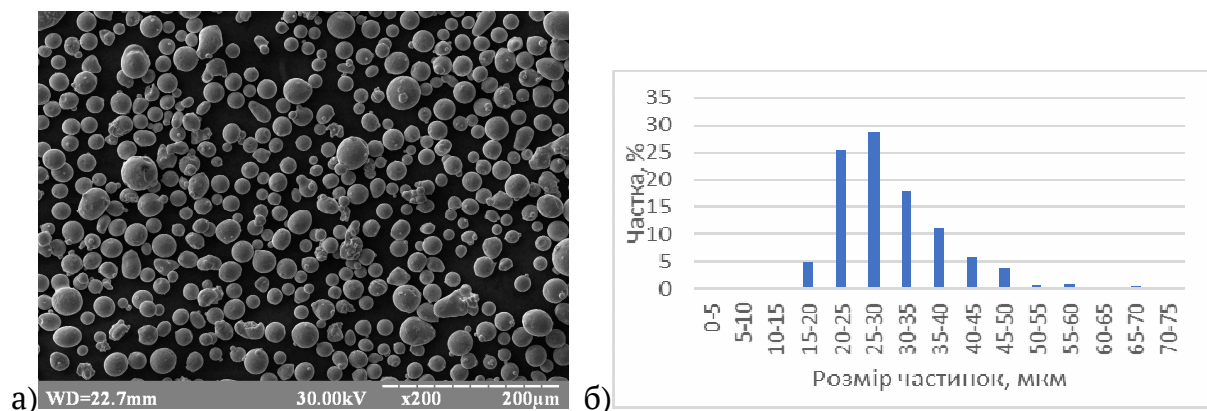


Рисунок 1 - Частинки вихідного матеріалу 316L при збільшенні 200 (а) та результати гранулометричного аналізу (б)

Робоча зона зразка на розтягування складалась з двох областей: область шорсткості 5 мкм, яка склала 80% робочої частини зразка (зона А і В) та 20% робочої частини зразка (зона Б) шорсткість якої склала 17 мкм. Зона підвищеної шорсткості знаходиться у центрі робочої частини зразка (рис. 2). Зона А фіксація штанги була в нерухомій траверсі, а зона В область рухомої траверси зі швидкістю руху 2 мм/сек.

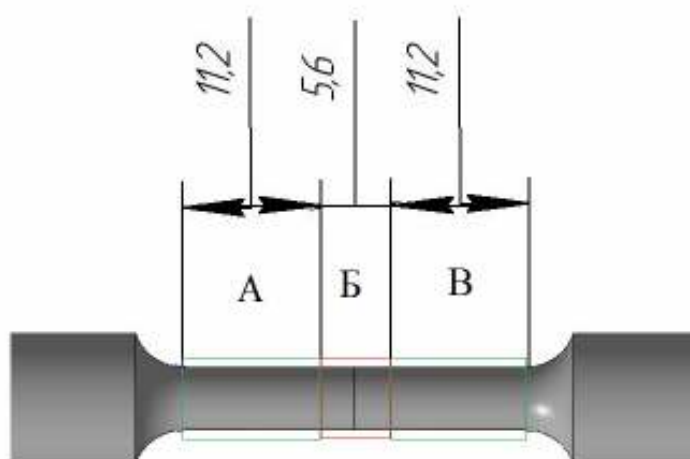


Рисунок 2 – Модель зразка для випробувань на розтягування: зелена область – шорсткість 5 мкм, червона зона – шорсткість 17 мкм

Одновісне розтягування проводилось при кімнатній температурі, реєстрація полів макролокальних переміщень фіксувалось методом DIC (digital image correlation) одночасно з розтягуванням. Результати розтягування представлені на рис 3 та в табл. 1. Дослідження мікроструктури проводили на оптичному мікроскопі CarlZeiss AxioVert 200M mat.

Таблиця 1

Результати випробувань на розтягування зразка сталі AISI 316L

σ_B , МПа	σ_T , МПа	δ_5 , %	Ψ , %
615,40	376,56	59,77	64,04

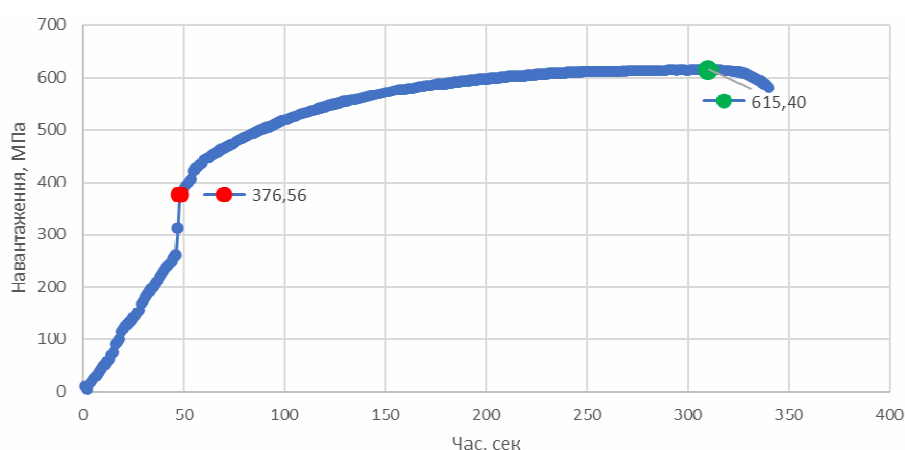
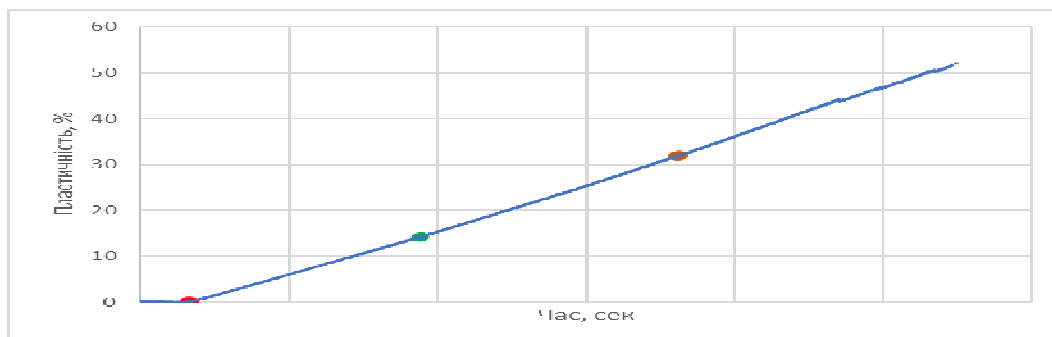
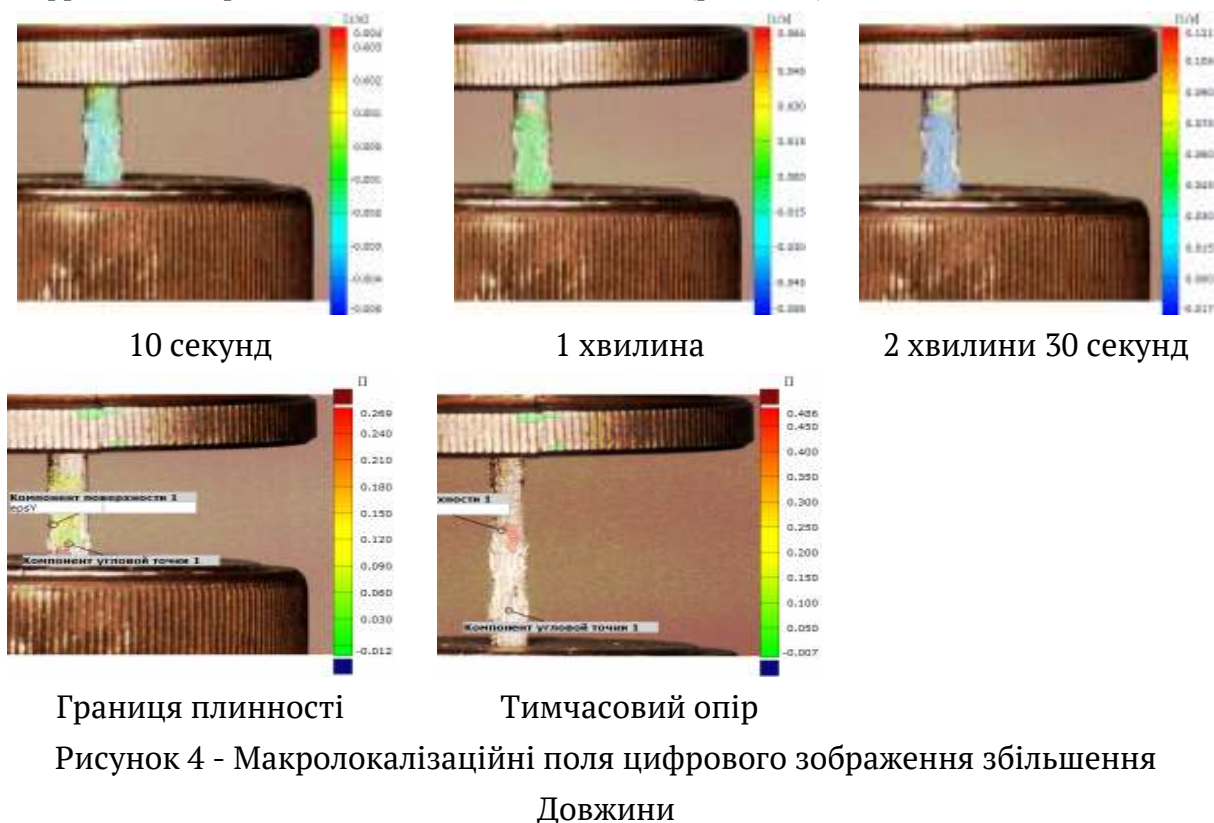


Рисунок 3 – Істинна діаграма розтягування зразка зі сталі AISI 316L виготовленого за SLM-технологією: червона точка – границя плинності, зелена точка – тимчасовий опір

З діаграми розтягування (рис. 3) встановлено, що область пружної деформації закінчується через 48 секунд і границя плинності складала 376,56 МПа, максимальна точка тимчасового опору зразка - 615, 40 МПа через 319 секунд після початку випробування. Виходячи з розрахунків відносно видовження складо 64,04 %, відносне звуження - 59,77%. Розривання зразка відбулось в області перехідної зони шорсткості в зоні А до зони Б з нерухомої частини.

Під час випробувань на розтягування була проведена фіксація діаграми цифрового зображення збільшення довжини (рис. 4, 5).



При зіставленні результатів механічних випробувань та DIC аналізу встановлено, що відносне видовження на момент розривання зразка склало 64,04%. Встановлено, що поверхневий та підповерхневий шар з збільшеною шорсткістю в порівнянні з основним тілом має менше відносне видовження на 10,84%.

Металографічні дослідження проводили на випробуваному зразку в області розривання, та штанг згідно схемі представлений на рис 6.

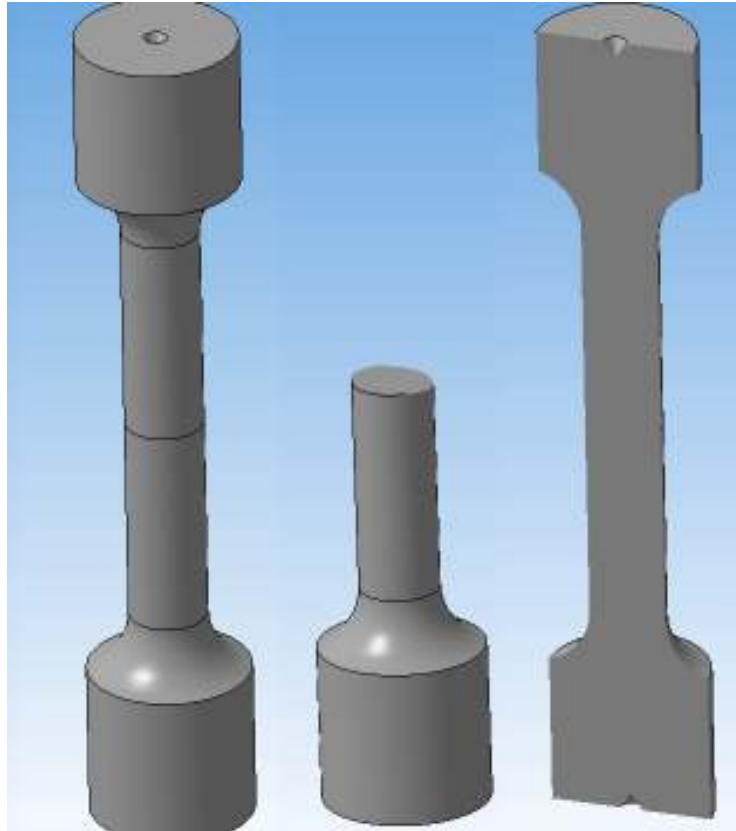


Рисунок 6 – Схема дослідження мікроструктури зразків зі сталі AISI 316L

Металографічні дослідження показали, що щільність зразка складає 99,83%, структура зразків являє собою мартенситну структуру рівновісних побудованих треків (рис. 7). З мікроструктурних досліджень робочої зони в області розриву було встановлено, що руйнування починалось з поверхні зразків між зонами А та Б. Під час досліджень в зоні А та Б було виявлено один з концентраторів розриву (рис. 8). В результаті дослідження встановлено, що руйнування починалось з поверхні зразків і місці зміни її шорсткості.

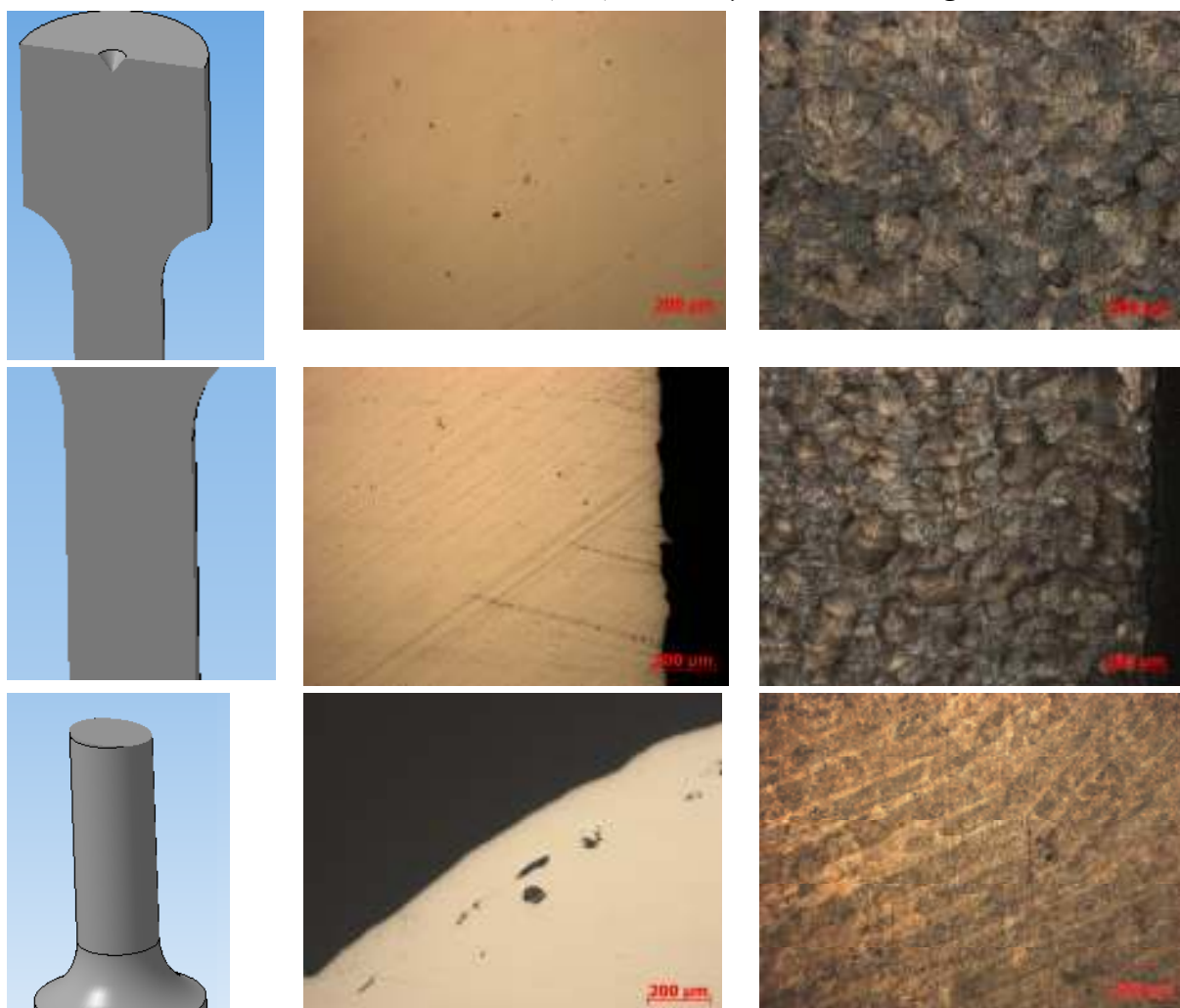


Рисунок 7 – Мікроструктура зразка зі сталі AISI 316L на розтягування в області руйнування, x100

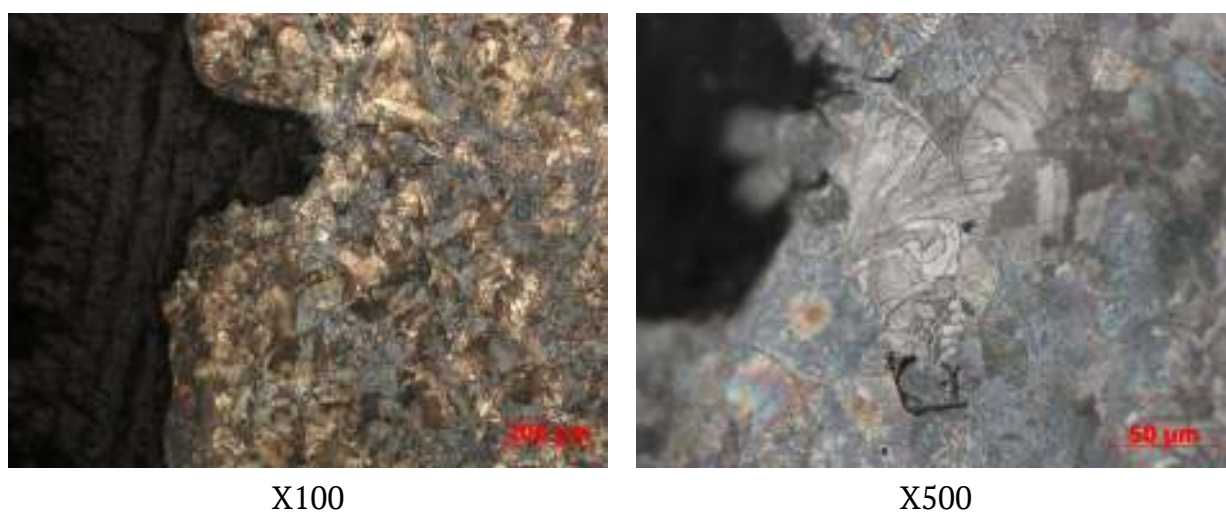


Рисунок 8 – Мікроструктура концентратора в області розриву

При дослідженні мікроструктури в зоні с концентратором виявлено тріщину з розвитком по границях хвостових ділянок, виявлено витяжку треків в напрямленні прикладення сили. Встановлена витяжка хвостових ділянок треків в області концентрації зі зменшенням в напрямленні основного тіла (рис. 9).

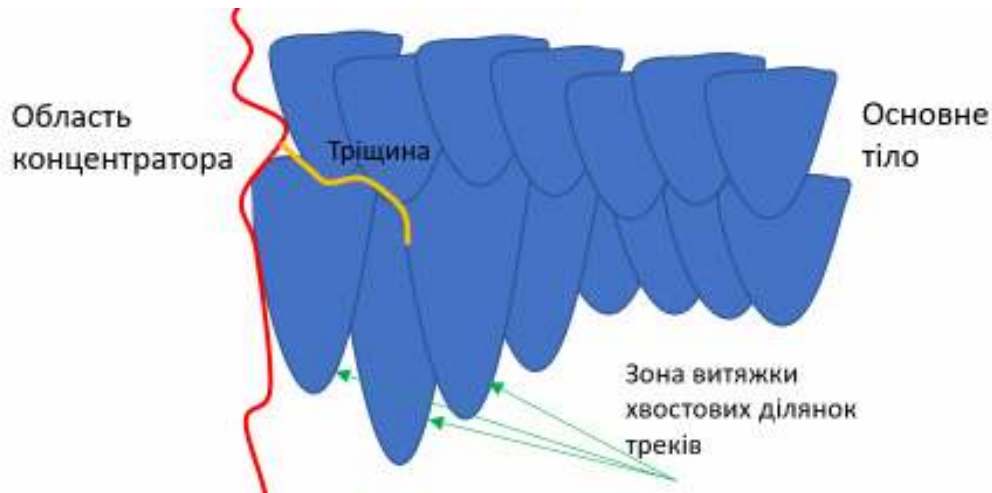


Рисунок 9 – Схема розповсюдження деформаційної тріщини під час випробування

Висновки

1. Показано, що утяжка та розрив під час випробувань з послідовним розривом утворилась в області переходу з шорсткості 17 мкм до 5 мкм зі сторони нерухомої частини.
2. Встановлено, що поверхневий та підповерхневий шар з збільшеною шорсткістю в порівнянні з основним тілом має меншу пластичність приблизно на 11% (10,84%).
3. Встановлено, вплив поверхневої шорсткості на механічні випробування сталі виготовленої за SLM-технологією.
4. Показано механізм деформації зразка зі сталі AISI 316L, побудовано схему витяжки хвостових ділянок треків та розповсюдження тріщини в умовах випробувань зразка на розтягування.

ЛІТЕРАТУРА / LITERATURE

1. Аджамский С. В., Кононенко А. А., Подольский Р. В. Симуляция влияния остаточных напряжений и параметров SLM-технологии на формирование области границ изделия из жаропрочного никелевого сплава INCONEL 718. Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Інформаційні технології в металургії та машинобудуванні» (17-19 марта 2020, Днепр), Днепр, 2020, С. 4–6. DOI: <https://doi.org/10.34185/1991-7848.itmm.2020.01.001>.

REFERENCES

1. Adzhamskij S. V., Kononenko A. A., Podol'skij R. V. (2020). Simuljacija vlijanija ostatocnyh naprjazhenij i parametrov SLM-tehnologii na formirovanie oblasti granic izdelija iz zharoprochnogo nikeljevogo splava inconel 718. Materiali mizhnarodnoï naukovu-tehnicnoï konferencii «Informacijni tehnologii v metalurgii ta mashinobuduvanni» (17-19 marta 2020, Dnepr), Dnepr, S. 4–6 [in Russian]. DOI: <https://doi.org/10.34185/1991-7848.itmm.2020.01.001>

Received 22.03.2021.

Accepted 24.03.2021.

Исследование влияния шероховатости на свойства образцов из стали AISI 316L методом регистрации макролокализационных полей

Исследования проводились на образцах, изготовленных из порошкового материала - нержавеющей стали AISI 316L мартенситного класса. Испытания для определения механических свойств проводили в соответствии с ISO 6892 на испытательной машине INSTRON. Контроль шероховатости рабочей поверхности проводился с помощью прибора BioBase. По результатам исследований микроструктуры и исследований методом регистрации макролокализационных полей рабочей зоны образцов установлено, что разрушение начиналось с поверхности образцов от микроконцентраторов из-за разной шероховатость.

Investigation of plastic properties of AISI 316L steel by method of registration of macrolocalization fields

Selective laser melting is one of the modern methods of manufacturing parts in the production of machine-building equipment, a special place is occupied by complex technological processes used in the manufacture of high-load units of pneumatic-hydraulic system from heat-resistant alloys. The research was carried out on samples made of powder material - stainless steel AISI 316L martensite class. Metallographic studies showed that the density of the sample is 99.83%, the structure of the samples is a martensitic structure of equilibrium constructed tracks. Tests to determine the mechanical properties were performed in accordance with ISO 6892 on an INSTRON test machine. From the tensile diagram it was found that the yield strength was 376.56 MPa, the maximum point of temporary resistance of the sample - 615, 40 MPa 319 seconds after the start of the test. The control of the surface roughness was performed using a BioBase device. The working area of the tensile sample consisted of two areas: a roughness area of 5 μm , which accounted for 80% of the working part of the sample (zones A and B) and 20% of the working part of the sample (zone B), the roughness was 17 μm . According to the results of microstructure studies and studies by the method of registration of macrolocalization fields of the working zone of the samples, it was found that the destruction began from the surface of the samples from microconcentrators due to different roughness. It is established that the surface and sub-surface layer with increased roughness in comparison with the main body has a smaller elongation by 10.84%. From microstructural studies of the working zone in the area of the gap, it was found that the destruction began from the surface of the samples between zones A and B. During

the research in zone A and B, one of the concentrators of the gap was detected. As a result of the study, it was found that the destruction began with the surface of the samples and the place of change of its roughness. The mechanism of deformation of the sample from AISI 316L steel is shown, the scheme of extraction of tail sections of tracks and crack propagation in the conditions of tensile testing of the sample is constructed.

Аджамський Сергій Вікторович - технічний директор LLC «Additive Laser Technology of Ukraine», Дніпро, Україна

Подольський Ростислав Вячеславович - інженер першої категорії Інституту чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України, інженер-матеріалознавець LLC «Additive Laser Technology of Ukraine», Дніпро, Україна

Кононенко Анна Андріївна - канд. техн.наук, вчений секретар Інституту чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України, інженер-матеріалознавець LLC «Additive Laser Technology of Ukraine», Дніпро, Україна

Аджамский Сергей Викторович –технический директор LLC «Additive Laser Technology of Ukraine», Днепр, Украина

Подольский Ростислав Вячеславович –инженер первой категории Института черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины, инженер- материаловед LLC «Additive Laser Technology of Ukraine», Днепр, Украина

Кононенко Анна Андреевна – канд. техн.наук, ученый секретарь Института черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины, инженер- материаловед LLC «Additive Laser Technology of Ukraine», Днепр, Украина

Adjamskiy Sergey - Technical Director of Additive Laser Technology of Ukraine LLC, Dnipro, Ukraine

Podolskyi Rostislav - engineer of the first category of the Institute of Iron and Steel of Z.I. Nekrasov NAS of Ukraine, materials engineer LLC Additive Laser Technology of Ukraine, Dnipro, Ukraine

Kononenko Ganna - Cand. technical science, scientific secretary of the Institute of Iron and Steel of Z.I. Nekrasov NAS of Ukraine, materials engineer LLC Additive Laser Technology of Ukraine, Dnipro, Ukraine

В.В. Герасимов, Д.И. Дружинин, Н.В. Карпенко

ОБУЧЕНИЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ УРОВНЯ ТОПЛИВА ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Аннотация. Рассмотрено машинное обучение глубоких многоуровневых нейронных сетей для решения задачи улучшения системы контроля уровня топлива транспортных средств. В работе изложены особенности подготовки и трансформации исходных данных для использования их в модели обучения, описана работа с библиотекой DeepLearning4j и ее преимущества для загрузки модели обучения, показан процесс обучения нейронной сети. В результате выполненной работы разработана модель обучения для определения уровня топлива в баках транспортных средств, описаны особенности предложенной модели.

Ключевые слова: нейронная сеть, глубокое обучение, модель обучения, Deeplearning4j, DataVec, csv, уровень топлива, DenseLayer, SOFTMAX, TANH.

Постановка проблемы. Все предприятия, имеющие автотранспорт, сталкиваются с проблемой больших затрат на содержание своего автопарка. Топливо — одна из самых накладных статей расходов на транспортное средство, а с учетом того, что цены топливо на практически постоянно идут вверх, контроль расхода топлива на сегодня является актуальным вопросом.

Контроль топлива можно осуществлять различными способами: расчётным методом, с помощью штатного датчика уровня топлива (ДУТ) в баке, с помощью емкостного ДУТ, с помощью ультразвукового ДУТ, с помощью датчика расхода топлива и т.д. [1, 2]. Если помимо расхода топлива нужно ещё контролировать и заправку транспортного средства (ТС) (фиксировать время и объем заправки), то круг возможных способов решения задачи сужается к использованию различных ДУТ. В тоже время при работе технологического, крупногабаритного и грузового транспорта уровень топлива в баках может сильно колебаться, что накладывает значительный шум на измеренные данные, поэтому для более качественного контроля расхода топлива следует очистить показания ДУТ от шума, обусловленного работой самого ТС. Таким образом, целью данной работы является создание модели обучения на основе ре-

альных зашумленных данных и обучение нейронной сети для определения поведения уровня топлива, а именно для определения времени и объема заправки ТС, расхода/перерасхода/слива топлива.

Основная часть. Во время измерения уровня топлива с помощью различных ДУТ на данные влияют очень много внешних факторов, которые могут создавать помехи при измерении и искажают реальный уровень топлива. В системах контроля и учета топлива применяют различные алгоритмы и способы обработки данных с целью избавления их от зашумления. В некоторых системах применяется первичная фильтрация путем исключения показаний, выходящих за пределы допустимых значений, резких скачков и отклонений, усреднение по скользящему окну [3]. Проводятся исследования по применению более сложных фильтров, чем простое усреднение, например, в работе [2] авторы предлагают использовать для обработки данных фильтр Калмана. Однако, следует учесть тот факт, что помехи случайны, имеют разную структуру и их очень сложно полностью удалить с помощью классических алгоритмов подавления шума. Поэтому мы будем использовать искусственный интеллект, а именно нейронную сеть, для поиска закономерностей, определения шума и исправления искаженных данных. Для исправления искаженных данных сначала надо определить, какие именно данные искажены, по сути провести классификацию данных.

Deeplearning4J или DL4J — это библиотека Java/Scala для глубокого обучения [4]. Кроме того, это также целое семейство других библиотек, которые упрощают использование моделей глубокого обучения с помощью языков программирования Java/Scala.

При работе с нейронными сетями большая часть данных, обычно около 80%, используется для обучения и поэтому называется обучающей выборкой. Остальные данные, обычно около 20%, используются для оценки качества модели и называются набором тестов. При выборе данных для набора тестов следует отметить, что этот набор должен состоять из репрезентативного подмножества всех данных. Это необходимо для правильной проверки информативности модели.

Для определения поведения уровня топлива в определенный момент времени будем использовать скользящее окно — 20 значений уровня топлива до и после текущего значения.

Сначала необходимо выполнить трансформацию исходных данных об уровне топлива для использования их в модели обучения. Исходные данные

представляют собой значение уровня топлива в каждый момент времени. Для обучающей модели мы будем брать все значения уровня топлива в рамках скользящего окна (для формирования контекста поведения), основным значением будет величина уровня топлива в данный момент времени. Для определения времени, когда происходит реальный расход топлива, будем использовать дополнительные значения скорости ТС. Для проверки качества нашей модели будем использовать данные о заправках ТС, которые получены другими способами (внесены вручную, получены с помощью другой системы контроля и т.д.).

Для описания поведения уровня топлива будем использовать 4 возможных класса. Так как данные для обучения возможны только в числовом формате, будем использовать условные числовые значения: 0 – наблюдается расход топлива; 1 – осуществляется заправка ТС топливом; 2 – уровень топлива не изменяется (ТС простаивает); 3 – данные искажены помехами.

После обработки данных будем использовать DataVec [5] для их загрузки в модель. Как и все другие методы статистического машинного обучения, глубокое обучение работает только с числовыми данными, а DataVec — это библиотека, которая помогает нам загружать, анализировать и преобразовывать наши данные в необходимый формат.

Библиотека DataVec включает дополнительные подклассы FileSplit, RecordReader и TransformProcess.

Мы передаем экземпляру RecordReader папку, в которой находится наш обучающий набор, как экземпляр класса File.

```
var numLinesToSkip = 0
var delimiter = ','
val recordReader: RecordReader = new
CSVRecordReader(numLinesToSkip, delimiter)
recordReader.initialize(new FileSplit(new
File("/home/denis/Documents/trainData1.txt")))
```

Наши данные отформатированы в CSV, поэтому мы создаем экземпляр CSVRecordReader и инициализируем его ранее созданным экземпляром FileSplit. Затем экземпляр RecordReader входные данные, полученные от экземпляра FileSplit, делит на один или несколько примеров.

Следующим шагом будет векторизация данных. Обычно глубокое обучение учитывает не все данные обучения на каждом этапе обучения, а только их часть. Этот процесс называется мини-дозированием (mini-batches). Каждый

полный проход данных называется эпохой. Желательно, чтобы для каждой эпохи мини-партии состояли из разных примеров, поскольку это помогает в лучшем обучении модели [6].

Размер мини-пакета, так называемый размер пакета, определяет, сколько примеров модель видит на каждом этапе обучения, и, таким образом, также значительно влияет на режим обучения. Чем больше размер пакета, тем меньше мини-партии и, следовательно, меньше шагов обучения в каждую эпоху. Однако в то же время модель может видеть больше данных и может лучше находить закономерности. Экспериментально мы определили, что обучение дает лучший результат при размере партии равной 100: `val batchSize = 100`.

Затем создается экземпляр `DataSetIterator`, который считывает преобразованные данные из экземпляра `RecordReader`, векторизует их и заботится о создании мини-партий. Мы используем подход классификации [7], чтобы указать, в каком столбце находится наш класс, то есть целевое значение, и сколько существует возможных классов. Мы будем использовать этот `DataSetIterator` для обучения нашей модели.

```
val labelIndex = 22
val numClasses = 4
val iterator: DataSetIterator = new
RecordReaderDataSetIterator(recordReader, batchSize,
labelIndex, numClasses)
val allData: DataSet = iterator.next()
allData.shuffle()
```

Разделяем данные на обучающие и тестовые

```
val testAndTrain: SplitTestAndTrain =
allData.splitTestAndTrain(0.25)
```

В нашем случае используется трехслойная модель нейронной сети. Сначала устанавливаем случайное начальное число весов(`seed`), поскольку веса модели будут инициализироваться случайным образом — в нашем случае с использованием схемы инициализации XAVIER [8]. Затем функция активации TANH [9] устанавливается по умолчанию для каждого слоя. Мы используем алгоритм оптимизации Adam [10] со скоростью обучения 0,1.

```
val conf: MultiLayerConfiguration = new
NeuralNetConfiguration.Builder()
.seed(seed)
.activation(Activation.TANH)
.weightInit(WeightInit.XAVIER)
.updater(new Sgd(0.1))
```



```
.12(1e-4)
.list()
.layer(new DenseLayer.Builder().nIn(numInputs).nOut(numInputs)
.build())
.layer(new DenseLayer.Builder().nIn(numInputs).nOut(numInputs)
.build())
.layer(new
OutputLayer.Builder(LossFunctions.LossFunction.NEGATIVELOGLIKE
LIHOOD)
.activation(Activation.SOFTMAX) //Override the global TANH
activation with softmax for this layer
.nIn(numInputs).nOut(outputNum).build())
.build())
```

В нашем случае архитектура модели состоит из 2 базовых мультиперцептронных слоев DenseLayer [11], каждый с 22 модулями ввода-вывода, и одного слоя OutputLayer с 4 выходами. Сам выходной слой OutputLayer также является DenseLayer, но разница заключается в функции потерь (LossFunctions.LossFunction.NEGATIVELOGLIKELIHOOD), которая вычисляет отклонение между результатом обучения модели и целевым классом. По результатам этого отклонения параметры модели затем корректируются, чтобы обеспечить лучшие результаты. Выходной слой OutputLayer устанавливает функцию активации, отличную от TANH по умолчанию, и вместо нее использует активацию SOFTMAX [9]. Это гарантирует, что выходные данные модели можно интерпретировать как распределение вероятностей, то есть каждое значение находится между 0 и 1, а сумма всех значений равна точно 1.

Все выбранные здесь значения параметров являются результатом экспериментов с количеством слоев, количеством входов для слоёв (кроме первого) и выходов на каждом слое (кроме последнего), а также изменением функции активации. Так функция активации TANH показала лучшие результаты, чем более часто используемая функция активации RELU [9].

По сравнению с усилиями, необходимыми для создания хорошей архитектуры модели, обучение является довольно простым. Сначала мы создаем новую модель из ранее определенной конфигурации, инициализируем ее, а затем обучаем, используя обучающий набор для 1000 эпох, т.е. обучающий набор повторяется более 1000 раз во время обучения. Через некоторое время обучение заканчивается, и обученную модель можно использовать.

```
val model: MultiLayerNetwork = new MultiLayerNetwork(conf)
model.init()
```

```
//record score once every 100 iterations
model.setListeners(new ScoreIterationListener(100))
for(i <- 0 to 1000) {
  model.fit(trainingData)
}
```

Фактическое обучение всегда вращается вокруг вызова метода подгонки. DL4J предлагает несколько вариантов. Мы перебираем итератор и передаем следующую мини-партию методу fit. Каждый вызов итератора — эпоха.

После обучения модели нужно также оценить, насколько хорошо она обобщает данные, которые еще не использовала. Для этого используется тестовый набор. Чтобы использовать тестовый набор, мы загружаем его так же, как и обучающий. В этом случае размер пакета не имеет значения для результата, поэтому для простоты мы будем использовать тот же размер, что и для обучающей выборки.

```
val eval: Evaluation = new Evaluation(4)
val output: INDArray = model.output(testData.getFeatures)
```

Матрица неточностей [12] показывает, каким образом модель классификации сбивается с толку, когда делает прогнозы. По матрице неточностей мы видим, что искусственный интеллект смог выделить 4 класса поведения (рис. 1). Успешный результат находится на перекрестке колонки и ряда определенного класса, остальные значения — ошибочные.

```
=====Confusion Matrix=====
  0  1  2  3
-----
16  0  0  4 | 0 = 0
 0  1  5  1 | 1 = 1
 0  0 39  0 | 2 = 2
 2  0  1  6 | 3 = 3

Confusion matrix format: Actual (rowClass) predicted as (columnClass) N times
```

Рисунок 1 – Результат тестирования модели нейронной сети –
Матрица неточностей (Confusion Matrix)

Объект оценки можно использовать для доступа к другим метрикам [12, 13], которые по умолчанию не отображаются в сводке. В нашем случае следует особо отметить коэффициент корреляции Мэтьюза (F1) [13], поскольку он также учитывает неравномерное распределение в данных и, таким образом, показывает то, что, несмотря на хорошую точность, предсказательная сила этой модели все еще несколько ограничена (рис. 2).

=====Evaluation Metrics=====	
# of classes:	4
Accuracy:	0.8267
Precision:	0.7008
Recall:	0.7050
F1 Score:	0.7027
Precision, recall & F1: macro-averaged (equally weighted avg. of 4 classes)	

Рисунок 2 – Результат тестирования модели – Метрики оценки (Evaluation Metrics): Accuracy — доля от общего числа верных прогнозов; Precision — доля правильно идентифицированных положительных случаев; Recall — доля действительно положительных случаев, которые правильно идентифицированы

После обучения модель нейронной сети записываем в указанный файл, вызывая метод `saveFile`. По умолчанию состояние Updater также сохраняется для того, чтобы продолжить обучение сохраненной модели позже.

Результаты работы разработанной нейронной сети показаны на рис. 3 — пунктиром отображаются исходные данные, сплошной линией показаны скорректированные данные.

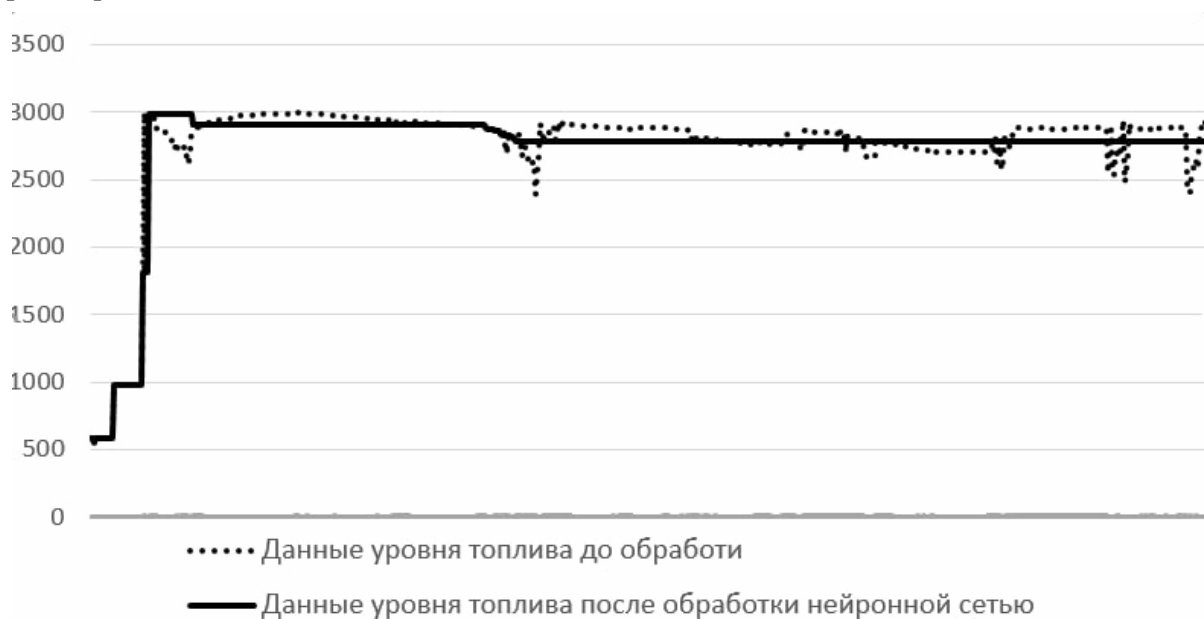


Рисунок 3 – График исходных и скорректированных данных

Выводы. В данной работе описана созданная модель обучения и процесс обучения нейронной сети через использование библиотеки DeepLearning4J, которая предоставляет методы для более быстрого глубокого обучения. Пред-

ставлен процесс обработки и трансформации совокупности сырых данных в векторизованный числовой вид для использования их в модели обучения. Получена и обучена нейронная сеть для определения состояния уровня топлива в текущий момент времени. Классифицировано поведение модели на четыре основных класса. Хотя пока ошибка определения поведения уровня топлива не сведена к нулю, мы сохранили состояния нейронной сети и в будущем сможем переобучить и развить нашу нейронную сеть для получения лучших результатов.

ЛИТЕРАТУРА / ЛІТЕРАТУРА

1. Контроль топлива — Системы GPS мониторинг транспорта и контроля топлива [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://gps-monitoring.com.ua/kontrol-topliva/>
2. Алексеев Н. Ю., Кудрявцев А. А., Асмолов Г. И., Лобов О. П. Реализация фильтра Калмана при обработке данных от датчика уровня топлива с использованием дополнительной информации от навигационно-связного терминала // Международный журнал перспективных исследований, т.8, № 3, 2018, с. 9-23.
3. Контроль уровня топлива глонасс АвтоГРАФ [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://snavi.ru/toplivo.html>
4. Deeplearning4j [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://deeplearning4j.org>
5. GitHub - deeplearning4j/DataVec: ETL Library for Machine Learning - data pipelines, data munging and wrangling [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://github.com/deeplearning4j/DataVec>
6. Паттерсон Дж., Гибсон А. Глубокое обучение с точки зрения практика / пер. с англ. А. А. Слинкина. — М.: ДМК Пресс, 2018. — 418 с.
7. Asiri S. Machine Learning Classifiers [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://towardsdatascience.com/machine-learning-classifiers-a5cc4e1b0623>
8. Joshi P. Understanding Xavier Initialization In Deep Neural Networks [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://prateekvjoshi.com/2016/03/29/understanding-xavier-initialization-in-deep-neural-networks/>
9. Sharma S. Activation Functions in Neural Networks [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://towardsdatascience.com/activation-functions-neural-networks-1cbd9f8d91d6>
10. Brownlee J. Gentle Introduction to the Adam Optimization Algorithm for Deep Learning [Электронный ресурс]. Режим доступа:

<https://machinelearningmastery.com/adam-optimization-algorithm-for-deep-learning/>

11. Multilayer Network [Електронний ресурс]. Режим доступа:

<https://deeplearning4j.konduit.ai/models/multilayernetwork>

12. Brownlee J. What is a Confusion Matrix in Machine Learning [Електронний ресурс]. Режим доступа:

<https://machinelearningmastery.com/confusion-matrix-machine-learning/>

13. Chicco D., Jurman G. The advantages of the Matthews correlation coefficient (MCC) over F1 score and accuracy in binary classification evaluation. BMC Genomics 21, 6 (2020). <https://doi.org/10.1186/s12864-019-6413-7>

REFERENCES

1. Fuel control - GPS systems for vehicle monitoring and fuel control [Electronic resource]. Access mode: <https://gps-monitoring.com.ua/kontrol-topliva/>

2. Alekseev N. Yu., Kudryavtsev A. A., Asmolov G. I., Lobov O. P. Implementation of the Kalman filter for data processing from the fuel level sensor with the use of additional information from the navigation communication terminal // International Journal of Advanced Studies, Vol. 8, No 3, 2018, P. 9-23.

3. FUEL LEVEL CONTROL GLONASS AutoGRAPH [Electronic resource]. Access mode: <http://snavi.ru/toplivo.html>

4. Deeplearning4j [Electronic resource]. Access mode: <https://deeplearning4j.org>

5. GitHub - deeplearning4j/DataVec: ETL Library for Machine Learning - data pipelines, data munging and wrangling [Electronic resource]. Access mode: <https://github.com/deeplearning4j/DataVec>

6. Patterson J., Gibson A. Deep Learning: A Practitioner's Approach 1st Edition. O'Reilly Media, 2017, 532 p.

7. Asiri S. Machine Learning Classifiers [Electronic resource]. Access mode: <https://towardsdatascience.com/machine-learning-classifiers-a5cc4e1b0623>

8. Joshi P. Understanding Xavier Initialization In Deep Neural Networks [Electronic resource]. Access mode: <https://prateekvjoshi.com/2016/03/29/understanding-xavier-initialization-in-deep-neural-networks/>

9. Sharma S. Activation Functions in Neural Networks [Electronic resource]. Access mode: <https://towardsdatascience.com/activation-functions-neural-networks-1cbd9f8d91d6>

10. Brownlee J. Gentle Introduction to the Adam Optimization Algorithm for Deep Learning [Electronic resource]. Access mode:

<https://machinelearningmastery.com/adam-optimization-algorithm-for-deep-learning/>

11. Multilayer Network [Electronic resource]. Access mode:

<https://deeplearning4j.konduit.ai/models/multilayernetwork>

12. Brownlee J. What is a Confusion Matrix in Machine Learning [Electronic resource]. Access mode: <https://machinelearningmastery.com/confusion-matrix-machine-learning/>

Chicco D., Jurman G. The advantages of the Matthews correlation coefficient (MCC) over F1 score and accuracy in binary classification evaluation. BMC Genomics 21, 6 (2020). <https://doi.org/10.1186/s12864-019-6413-7>

Received 22.03.2021.

Accepted 24.03.2021.

Навчання нейронної мережі для системи контролю рівня палива транспортних засобів

Розглянуто машинне навчання глибоких багаторівневих нейронних мереж для вирішення задачі покращення системи контролю рівня палива транспортних засобів. В роботі викладено особливості підготовки і трансформації вихідних даних для використання їх в моделі навчання, описана робота з бібліотекою DeepLearning4j і її переваги для завантаження моделі навчання, показано процес навчання нейронної мережі. В результаті виконаної роботи розроблено модель навчання для визначення рівня палива в баках транспортних засобів, описано особливості запропонованої моделі.

Neural network training for vehicle fuel level control

The goal of the paper is to create a training model based on real raw noisy data and train a neural network to determine the behavior of the fuel level, namely, to determine the time and volume of vehicle refueling, fuel consumption / excessive consumption / drainage.

Various algorithms and data processing methods are used in fuel control and metering systems to get rid of noise. In some systems, primary filtering is used by excluding readings that are out of range, sharp jumps and deviations, and averaging over a sliding window. Research is being carried out on the use of more complex filters than simple averaging – by example, the Kalman filter for data processing.

When measuring the fuel level using various fuel level sensor the data is influenced by many external factors that can interfere with the measurement and distort the real fuel level. Since these interferences are random and have a different structure, it is very difficult to completely remove them using classical noise suppression algorithms. Therefore, we use artificial intelligence, namely a neural network, to find patterns, detect noise and correct distorted data. To correct distorted data, you first need to determine which data is distorted, classify the data.

In the course of the work, the raw data on the fuel level were transformed for use in the neural network training model. To describe the behavior of the fuel level, we use 4 possible classes: fuel consumption is observed, the vehicle is refueled, the fuel level does not change (the vehicle is idle), the data is distorted by noise. Also, in the process of work, additional tools of the

DeepLearning4j library were used to load data training and training a neural network. A multilayer neural network model is used, namely a three-layer neural network, as well as used various training parameters provided by the DeepLearning4j library, which were obtained because of experiments.

After training the neural network was used on test data, because of which the Confusion Matrix and Evaluation Metrics were obtained.

In conclusion, finding a good model takes a lot of ideas and a lot of experimentation, also need to correctly process and transform the raw data to get the correct data for training. So far, a neural network has been trained to determine the state of the fuel level at a point in time and classify the behavior into four main labels (classes). Although we have not reduced the error in determining the behavior of the fuel level to zero, we have saved the states of the neural network, and in the future we will be able to retrain and evolve our neural network to obtain better results.

Герасимов Володимир Володимирович – доцент кафедри електронних обчислювальних машин ДНУ.

Карпенко Надія Валеріївна – доцент кафедри електронних обчислювальних машин ДНУ.

Дружинін Денис Ігорович – аспірант кафедри електронних обчислювальних машин ДНУ.

Герасимов Владимир Владимирович - доцент кафедры электронных вычислительных машин ДНУ.

Карпенко Надежда Валерьевна - доцент кафедры электронных вычислительных машин ДНУ.

Дружинин Денис Игоревич - аспирант кафедры электронных вычислительных машин ДНУ.

Gerasimov Vladimir Vladimirovich — Associate Professor of Computer Systems Engineering Department of DNU

Karpenko Nadija Valeriivna — Associate Professor of Computer Systems Engineering Department of DNU

Druzhynin Denys Igorovich — Postgraduate of Computer Systems Engineering Department of DNU.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕОБЛАДНАНОГО КОЛІСНОГО ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ КАТЕГОРІЇ М1 В ЕЛЕКТРОМОБІЛЬ

Анотація. В роботі розглядається автомобіль ЗАЗ 965 «Запорожець» категорії М1, який був переобладнаний в батарейний електромобіль. Автомобіль оснащено тяговим електродвигуном Балканкар ДС 3,6/7,5/14, силовою акумуляторною батареєю на літієвих елементах максимальною напругою 100,8 В та ємністю 6,45 кВт·год. Система керування тяговим електродвигуном імпульсна з електронними силовими перемикачами. Проведено дорожні експериментальні дослідження, отримана витрата електричної енергії автомобілем при різних швидкостях, визначено коефіцієнт, що характеризує співвідношення спожитої електричної енергії до кінетичної енергії автомобіля. Порівняння результатів теоретичних та експериментальних досліджень свідчить про адекватність розробленої математичної моделі і вихідних положень, покладених в основу розрахунку показників ефективності витрати енергії переобладнаних автомобілів категорії М1 в електромобілі.

Ключові слова: автомобіль, електромобіль, переобладнання, експеримент, дослідження, дорожні випробовування, математична модель, ефективність

Постановка проблеми. За статистичними даними міністерства інфраструктури України [1] від 2019 року, автомобільна транспортна система України налічує більше 9,2 млн. КТЗ, у тому числі: 6,9 млн. легкових автомобілів; \approx 250 тис. автобусів; \approx 1,3 млн. вантажних автомобілів; понад 840 тис. од. мототранспорту. Частка ЕКТЗ – електричних та гібридних колісних транспортних засобів складає близько 5%. При подорожчанні нафтопродуктів всі ці КТЗ з ДВЗ треба бути переобладнувати на інші види енергоносіїв з метою подальшого використання ресурсу кузова та трансмісії, щоб надати їм можливість виробити свій ресурс. Одним з напрямків є переобладнання силової установки (СУ) КТЗ на електричну або гібридну.

Покращення енергетичних та екологічних властивостей, забезпечення необхідних тягово-швидкісних властивостей переобладнаних ЕКТЗ може бути

досягнуто удосконаленням як конструктивних, так і експлуатаційних факторів, зокрема, раціональним вибором типу та характеристик елементів системи «САКБ – ТЕД – Трансмісія», (САКБ – силова акумуляторна батарея, ТЕД – тяговий електродвигун) шляхом підбору передаточних відношень трансмісії, вибором режимів роботи СУ та алгоритму блока керування, типу АЕ – акумуляторний елемент, потужності САКБ, типа та потужності ТЕД.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Зміна СУ КТЗ впливає на зміну показників тягово-швидкісних властивостей та показників витрати енергії переобладнаних ЕКТЗ. Мінімальні тягово-швидкісні показники ЕКТЗ обумовлені необхідністю виконувати ними їздовий цикл при сертифікаційних випробовуваннях. Необхідні показники СУ можна отримати шляхом оптимізації системи «САКБ – ТЕД – Трансмісія», цей напрямок досить детально розглянутий в роботах [2–6]. Питання доцільності створення автомобілів з ГСУ розглянуто в роботах А.В. Дубинена, А.А. Бикова, М.Г. Колобова, Н.О. Грищенко, П.М. Киркина, В.Х. Далека, В.Ф. Харченко, М.І. Шпіка, Н.О. Грищенко, О.М. Тімкова, О. С. Іванова, С.А. Серікова [7–11] та багатьох інших.

Забезпечення необхідних показників тягово-швидкісних властивостей ЕКТЗ є складним завданням та потребує більш детальної оцінки внаслідок великих труднощів при знаходженні вихідних даних та внутрішніх параметрів системи.

Мета дослідження. Перевірка адекватності розробленої математичної моделі і вихідних положень, покладених в основу розрахунку параметрів тягово-швидкісних показників та показників ефективності витрати енергії переобладнаних КТЗ категорії М1 в ЕКТЗ.

Викладення основного матеріалу дослідження. При переобладнанні серійного КТЗ в ЕКТЗ постає ряд питань, що треба вирішити (рис. 1). Враховуючи вимоги нормативних документів не можна збільшувати повну масу ЕКТЗ, треба зберегти розподіл маси по осях автомобіля для збереження показників стійкості та керованості. Для автомобіля категорії М1 середнього класу приблизна вага елементів КТЗ що демонтуються складає близько 300 кг, відповідно, додаткове електричне обладнання має мати приблизно таку ж вагу.

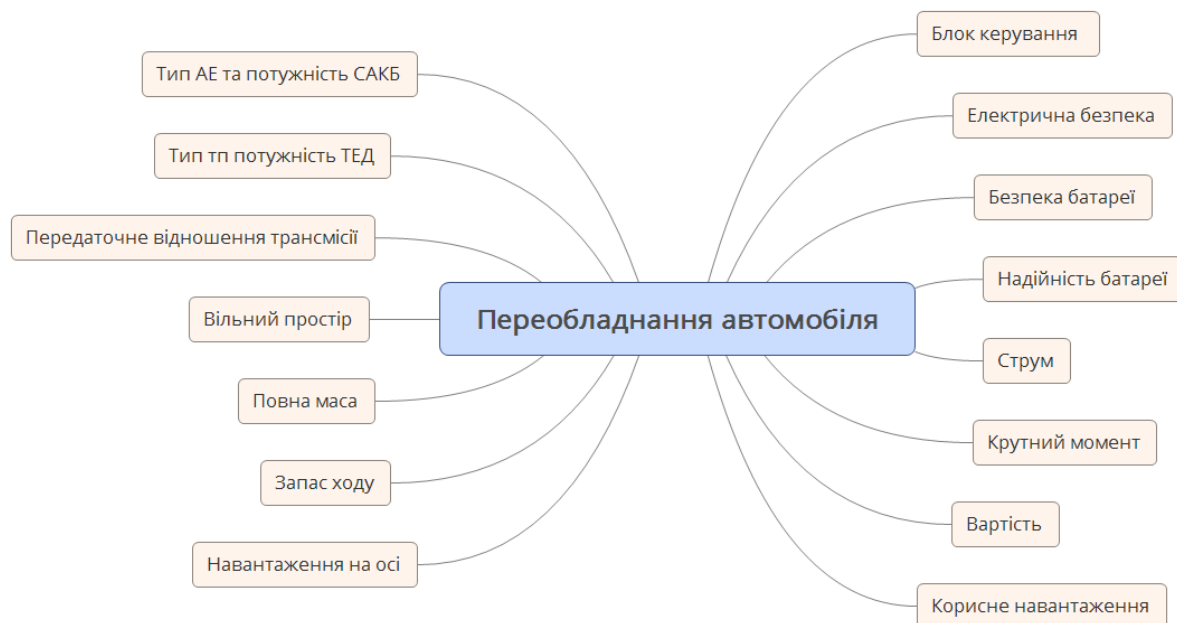


Рисунок 1 – Задачі, що виникають при переобладнанні в ЕКТЗ

Аналітичні дослідження тягово-швидкісних властивостей та показників ефективності витрати енергії переобладнаних КТЗ за різних типів елементів системи «САКБ – ТЕД – Трансмісія» проведені при деяких допущеннях, зокрема, про характер протікання тягової характеристики ЕМ, характеристик ТЕД, САКБ, величину коефіцієнта опору кочення й ін.

Визначення показників витрати електричної енергії на 100 км пробігу, проводилося за методикою Правила ООН №101-00 [12].

Дорожні випробування передбачали перевірку аналітичних і емпіричних залежностей, отриманих у результаті проведених досліджень, а також уточнення їх з урахуванням факторів, що мають місце в реальних дорожніх умовах [13]. Випробування проводяться згідно європейських стандартів ЕН 1986-2:2001 [14] і ЕН 1986-1 [15].

Під час випробувань визначались такі параметри, як витрата електричної енергії, ефективний крутний момент, частота обертання валу ТЕД, величина струму та напруга САКБ.

Об'єктом експериментального дослідження був обраний автомобіль ЗАЗ 965 «Запорожець» категорії М1. КТЗ було переобладнано в ЕМ для експериментальної перевірки основних положень роботи (рис. 2). В результаті це забезпечило реальну оцінку й кількісне порівняння переваг і недоліків кожного з запропонованих рішень. Штатний бензиновий двигун був демонтований, замість нього через виготовлену перехідну плиту був встановлений ТЕД.

Автомобіль обладнаний необхідним електронним та електричним обладнанням.



Рисунок 2 – Електрична силова установка переобладнаного ЕКТЗ

1 – піввосі; 2 – коробка передач; 3 – перехідна плита; 4 – ТЕД

Джерелом механічної енергії є ТЕД постійного струму марки Балканкар ДС 3,6/7,5/14, технічна характеристика якого наведена в табл. 1.

ТЕД через перехідну плиту з'єднаний з стандартною механічною коробкою передач, яка встановлена на задньої осі автомобіля, інші агрегати – серійні. Випробування проводилися на третій та четвертій передачах в коробці передач.

Таблиця 1

Технічна характеристика ТЕД

Параметр	Величина
Марка	Балканкар ДС 3,6/7,5/14
Номінальна напруга	75 В
Тип збудження	послідовне
Режим роботи	3,6 S1
Номінальний струм	60 А
Номінальна частота обертання	1400 хв ⁻¹
Маса	80 кг

На рис. 3 показано розміщення ТЕД та електронного обладнання в моторному відсіку переобладнаного ЕКТЗ. Система керування тяговим двигуном імпульсна з електронним силовим перемикачем, марки «Романтик-1».



Рисунок 3 – Розміщення елементів: 1) ТЕД , 2) бортового зарядного пристрою, 3) перетворювача постійного струму, 4) блоку силових електроніки (контролера) та 5) головного запобіжника/вимикача в моторному відсіку переобладнаного автомобіля

Контролер для керування ТЕД розроблено на потужних польових транзисторах, який має високий ККД – 95% та можливість програмного налаштування. Контролер має робочий діапазон живлення від 24 В до 150 В. Максимальний струм 700 А. Керування потужністю на виході ТЕД відбувається за допомогою контролера, який змінює скважність ШИМ сигналу в залежності від сигналу з блоку керування та логіки роботи системи керування. Зміна скважності ШИМ сигналу відбувається при спрацюванні захисту, в разі падіння напруги на батареї або перегріві силових електроніки чи ТЕД. Також, скважність ШИМ сигналу примусово обмежується, якщо струм батареї перевищує максимально допустимий.

Тягова батарея складається з 12-ти літієвих модулів, технічна характеристика модуля наведена в табл. 2. Максимальна напруга САКБ, що відповідає рівню заряду 100% складає 100,8 В, середня – 91,2 В, мінімальна напруга після

якої різко падає потужність батареї 78 В це значення вважається 0 % рівень заряду.

Таблиця 2

Технічна характеристика літієвого модуля

Параметр	Величина
Конструктивні номери	295B9-3NA9A, 295B93NA9A, 295B9-3NA0A, 295B93NA0A
Ємність	64 А*год
Кількість елементів в модулі	4
Середня напруга	7,6 В
Максимальна напруга	8,4 В
Довжина	303 мм
Ширина	223 мм
Товщина	35 мм
Маса	3,8 кг

Експериментальні дослідження витрат електричної енергії ЕКТЗ, виконується з метою визначення значення коефіцієнта η_{eA} , що характеризує долю спожитою електричної енергії, яка використовується для створення кінетичної енергії КТЗ.

Витрати електроенергії в режимі розгону ЕКТЗ до заданої швидкості дорівнює:

$$A = \int_0^{t_{V=V}} U \cdot I \, dt, \quad (1)$$

де $t_{V=V}$ – момент досягнення заданої швидкості, с;

U – напруга на ТЕД, В;

I – струм, що споживається ЕКТЗ з САКБ, А.

Витрати електроенергії в режимі розгону КТЗ, Вт·с, за дискретній формі запису визначаються за допомогою програмних засобів за формулою:

$$A = \Delta t_n \sum_{n=1}^n U_n \cdot I_n \quad (2)$$

де n – кількість вимірювань від моменту початку розгону до досягнення заданої швидкості;

Δt_n – проміжок часу, через який вимірюється напруга, U_n , та струм, I_n .

Коефіцієнт використання електроенергії, η_{eA} визначається за формулою:

$$\eta_{eA} = \frac{W_k}{A} = \frac{mV^2}{2A}, \quad (3)$$

де W_k – кінетична енергія, яку накопичив ЕКТЗ, Вт·с;

m – маса спорядженого ЕКТЗ, кг;

V – задана швидкість ЕКТЗ, м/с;

Таким чином, для виконання експериментального визначення коефіцієнта η_{eA} треба виконати вимірювання швидкості, стуму та напруги живлення ТЕД ЕКТЗ під час його розгону до заданої швидкості. Під час проведення експериментальних досліджень було виконано вимірювання зазначених величин при русі у двох протилежних напрямках на контрольній ділянці, реєстрація показників здійснювалася за допомогою комп'ютера із застосуванням перетворювача аналогової інформації в цифрову USB Oscilloscope. За отриманими значеннями струму та напруги були розраховані відповідно до формули (1) витрати електроенергії (Вт·с) коли швидкість КТЗ дорівнює (10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 км/год). Результати вимірювань наведені у таблиці 3.

Таблиця 3

Витрати електроенергії під час рівномірного прямолінійного руху

Швидкість ЕКТЗ, км/год	Номери вимірювань				Середнє значення, Вт·с	Розраху- нок, Вт·с	Відхи- лення, %
	1	2	3	4			
10	441,5	554,7	544,3	577,9	529,62	486,69	8,82
15	816,8	953,8	981,5	941,9	923,49	861,16	7,24
20	1335	1497	1572	1363	1442,50	1392,96	3,56
25	2090	2341	2432	2201	2266,48	2134,57	6,18
30	2976	3273	3543	3105	3224,74	3138,37	2,75
35	4319	4888	4936	4364	4626,97	4457,00	3,81
40	5952	6472	6670	6590	6421,26	6142,14	4,54
45	7824	9225,	8959	8421	8607,44	8249,44	4,34
50	9591	12214	11981	12734	11630,3	10818,35	7,51
55	12370	16353	16053	16132	15227,4	13952,80	9,14

Середнє значення показників витрат енергії для кожного діапазону швидкості визначено згідно з ДСТУ ISO 2602 [16] за формулою:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (5)$$

Статистична обробка результатів розрахунків коефіцієнту використання електроенергії, η_{eA} , за методикою ДСТУ ISO 3301, визначається за формулою (3), результати наведено у табл. 4.

Таблиця 4

Результати статистичних розрахунків

Показник	Значення
Середнє	8,89670799
Стандартна помилка	0,38268973
Медіана	9,031107039
Стандартне відхилення	1,210171185
Дисперсія вибірки	1,464514297
Ексцес	-1,138726143
Асиметричність	-0,494338047
Інтервал	3,308787183
Сума	88,9670799
Рівень надійності (95,0%)	0,865704314

Порівнюючи результати, отримані експериментальним та розрахунковим методами, можна відзначити, що спостерігається якісний та кількісний збіг значень.

Висновки. Визначені показники мають однакові тенденції зміни величин і незначні величини розглянутих відхилень. Розбіжність теоретичних і експериментальних результатів витрати енергії становить 3,56...14,87 %. Розбіжність пояснюється тим, що теоретичні значення витрати енергії є меншими ніж експериментальні і отримані при мінімальній розрядній напрузі. Однак їх можна використовувати для аналізу. Тому розбіжність результатів можна вважати задовільною.

ЛІТЕРАТУРА / LITERATURE

1. Статистичні дані по галузі автомобільного транспорту [Electronic resource] // Міністерство інфраструктури України. URL: <http://mtu.gov.ua/content/statistichni-dani-po-galuzi-avtomobilnogo-transportu.html> (accessed: 03.02.2020).
2. Філіпова Г.А. Експериментальні дослідження тягово-швидкісних властиво-

стей і паливної економічності газобалонних автомобілів // УТУ, м.Київ. 1997. № 3. Р. 64–66.

3. Сахно В.П., Філіпова Г.Ф. Розвиток конструкцій газобалонних авто-мобілів та їх сучасний стан // Львів – Трускавець, 1997. Vol. 4. Р. 149–151.

4. Горбаха М.М. Покращання показників техніко-експлуатаційних властивостей автомобілів при їх переобладнанні: дис. на здобуття ступеня к.т.н.: 05.22.02 — Автомобілі та трактори. Київ: Національний транспортний університет, 2006. 156 р.

5. Бумага О.Д. Покращання показників техніко-експлуатаційних властивостей міських газобалонних автобусів: дис... канд. техн. наук: 05.22.02. Київ: Національний транспортний ун-т., 2005. 158 р.

6. Горбаха М.М. Визначення показників тягово-швидкісних властивостей автомобіля „ГАЗель” з різними силовими агрегатами // Київ, 2003. № 8. Р. 307–310.

7. Далека В.Х. Тяговий привід транспортних засобів з гібридною силовою установкою. 2010. № 97. Р. 226–331.

8. Дубинен А.В., Быков А.А., Колобов М.Г. Гибридный транспорт. 2009. № 88. Р. 275–280.

9. Грищенко Н.О., Киркин П.М. Транспортні засоби для міських пасажирських перевезень з гібридною силовою установкою. 2011. № 122.

10. Тімков О.М., Іванов О.С. Визначення потужності агрегату для рекуперації кінетичної енергії та мінімальної швидкості з якої доцільно починати рекупераційне гальмування для гібридного автомобіля в залежності від їздового циклу // Управління Проектами Системний Аналіз І Логістика Технічна Серія. Національний транспортний університет, 2012. № 9. Р. 197–201.

11. Серіков С.А. Силовая установка гибридного автомобиля как объект управления. 2009. № 3. Р. 45–50.

12. Правила ЕЭК ООН N 101 Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения легковых автомобилей, оборудованных двигателем внутреннего сгорания, в отношении измерения объема выбросов двуокиси углерода и расхода топлива, а также транспортных средств категорий M1 и N1, оборудованных электроприводом, в отношении измерения расхода электроэнергии и запаса хода.

13. Налимов В.В. Теория эксперимента. Москва: Наука, 1971. 205 р.

14. EN 1986 – 2:2001 “Electrically propelled road vehicles – Measurement of energy performances – Part 2: Thermal electric hybrid vehicle.”

15. EN 1986 – 1:1997 “Electrically propelled road vehicles – Measurement of energy performances – Part 1: Pure electric vehicle.”
16. ДСТУ ISO 2602:2006. Подання результатів випробування статистичне. Оцінювання середнього значення. Довірчий інтервал (ISO 2602:1980, IDT) [Electronic resource]. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=50572 (accessed: 13.10.2020).

REFERENCES

1. Statystychni dani po haluzi avtomobilnoho transportu [Electronic resource] // Ministerstvo infrastruktury Ukrainy. URL: <http://mtu.gov.ua/content/statystychni-dani-po-galuzi-avtomobilnoho-transportu.html> (accessed: 03.02.2020).
2. Filipova H.A. Eksperymentalni doslidzhennia tiahovo-shvydkisnykh vlastyvostei i palyvnoi ekonomichnosti hazobalonnykh avtomobiliv // UTU, m.Kyiv. 1997. № 3. P. 64–66.
3. Sakhno V.P., Filipova H.F. Rozvytok konstruksii hazobalonnykh avto-mobiliv ta yikh suchasnyi stan // Lviv – Truskavets, 1997. Vol. 4. P. 149–151.
4. Horbakha M.M. Pokrashchannia pokaznykiv tekhniko-ekspluatatsiinykh vlastyvostei avtomobiliv pry yikh pereobladnanni: dys. na zdobuttia stupenia k.t.n.: 05.22.02 — Avtomobili ta traktory. Kyiv: Natsionalnyi transportnyi universytet, 2006. 156 p.
5. Bumaha O.D. Pokrashchannia pokaznykiv tekhniko-ekspluatatsiinykh vlastyvostei miskykh hazobalonnykh avtobusiv: dys... kand. tekhn. nauk: 05.22.02. Kyiv: Natsionalnyi transportnyi un-t., 2005. 158 p.
6. Horbakha M.M. Vyznachennia pokaznykiv tiahovo-shvydkisnykh vlastyvostei avtomobilia „HAZel” z riznymi sylovymy ahrehatamy // Kyiv, 2003. № 8. P. 307–310.
7. Daleka V.Kh. Tiahovyi pryvid transportnykh zasobiv z hibrydnoiu sylovoiu ustanovkoiu. 2010. № 97. P. 226–331.
8. Dubynen A.V., Bykov A.A., Kolobov M.H. Hybrydnyi transport. 2009. № 88. P. 275–280.
9. Hryshchenko N.O., Kyrkyn P.M. Transportni zasoby dlia miskykh pasazhyrskykh perevezen z hibrydnoiu sylovoiu ustanovkoiu. 2011. № 122.
10. Timkov O.M., Ivanov O.S. Vyznachennia potuzhnosti ahrehatu dlia rekuperatsii kinetychnoi enerhii ta minimalnoi shvydkosti z yakoi dotsilno pochynaty rekuperatsiine halmuvannia dlia hibrydnoho avtomobilia v zalezhnosti vid yizdovoho tsyклу // Upravlinnia Proektamy Systemnyi Analiz I Lohistyka Tekhnichna Seriia. Natsionalnyi transportnyi universytet, 2012. № 9. P. 197–201.
11. Serikov S.A. Sylovaia ustanovka hybrydnoho avtomobilya kak ob’ekt

upravleniya. 2009. № 3. P. 45–50.

12. UNECE Regulation No. 101 Uniform provisions concerning the approval of passenger cars equipped with an internal combustion engine with regard to the measurement of the emission of carbon dioxide and fuel consumption and of categories M₁ and N₁ vehicles equipped with an electric power train with regard to the measurement of electric energy consumption and range.

13. Nalymov V.V. Teoriya eksperymenta. Moskva: Nauka, 1971. 205 p.

14. EN 1986 – 2:2001 “Electrically propelled road vehicles – Measurement of energy performances – Part 2: Thermal electric hybrid vehicle.”

15. EN 1986 – 1:1997 “Electrically propelled road vehicles – Measurement of energy performances – Part 1: Pure electric vehicle.”

16. DSTU ISO 2602:2006. Podavannia rezultativ vyprovuvannya statystychne. Otsiniuvannya serednoho znachennia. Dovirchyi interval (ISO 2602:1980, IDT) [Electronic resource]. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=50572 (accessed: 13.10.2020).

Received 23.03.2021.

Accepted 26.03.2021.

Экспериментальные исследования переоборудованного колесного транспортного средства категории М1 в электромобиль

В работе рассматривается автомобиль ЗАЗ 965 «Запорожец» категории М1, который был переоборудован в батарейный электромобиль. Автомобиль оснащен тяговым электродвигателем Балканкар ДС 3,6/7,5/14, силовой аккумуляторной батареей на литиевых элементах, максимальное напряжение 100,8 В и емкость 6,45 кВт·ч. Система управления тяговым электродвигателем импульсная с электронными силовыми переключателями. Проведено дорожные экспериментальные исследования, определен расход электроэнергии автомобилем при различных скоростях движения, определен коэффициент, характеризующий соотношение потребленной электрической энергии к кинетической энергии автомобиля.

Сопоставление результатов теоретических и экспериментальных исследований свидетельствует про адекватность разработанной математической модели и исходных положений, положенных в основу расчета показателей эффективности использования электрической энергии электромобилями, переоборудованными из серийных автомобилей с ДВЗ.

Experimental research of a re-equipment wheeled vehicle category M1 into electromobile

Today, there are more than 1 billion ICE equipped vehicles worldwide. Some of them are electric vehicles, hybrid vehicles of various types, hydrogen and gas power plants. The part of environmentally friendly wheeled vehicles is very small. With an increase in the price of oil products in the foreseeable future, all these cars with ICE will have to be either disposed of or refurbished. Moreover, mainly for other types of energy, more environmentally friendly, with the aim of fur-

ther using the resource of the body and transmission, in order to provide them with the opportunity to develop their resource. One of the promising areas is the re-equipment of the power plant to an electric or hybrid one.

Ensuring the required indicators of traction and speed properties of electric vehicles is a difficult task and requires a more detailed assessment due to the great difficulties in finding the initial data and internal parameters of the system. The presented article considers the vehicle ZAZ 965 "Zaporozhets" of category M1, which was re-equipment into a battery electromobile. The vehicle is equipped with a traction electric motor Balkankar DS 3.6/7.5/14, a power storage battery with lithium cells, a maximum voltage of 100.8 V and a capacity of 6.45 kW·h. The traction motor control system is impulse with electronic power switches. Traction motor power is controlled by a controller that changes the pulse-width modulation (PWM) depending on the control signal from the control unit and the logic of the system. The change in PWM signal also occurs when the thermal protection is triggered, and in the event of a voltage drop on the power storage battery.

Experimental road studies have been carried out, electricity consumption by a vehicle at various speeds has been determined, a coefficient has been determined that characterizes the ratio of consumed electrical energy to the kinetic energy of a vehicle. Comparison of the results of theoretical and experimental studies testifies to the adequacy of the developed mathematical model and the initial provisions underlying the calculation of the indicators of the efficiency of the use of electric energy by electromobile re-equipment from common vehicle with ICE.

Гладченко Володимир Сергійович – Національний транспортний університет, аспірант кафедри туризму.

Гладченко Владимир Сергеевич - Национальный транспортный университет, аспирант кафедры туризма.

Hladchenko Volodimir – National Transport University, Postgraduate student, Department of Tourism.

ЗАСТОСУВАННЯ ЗАСОБІВ ГРАФІЧНОГО ПРОГРАМУВАННЯ В ПРОЦЕСІ НАВЧАННЯ СТУДЕНТІВ ТЕХНІЧНИХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ

Анотація. Роботу присвячено практичним аспектам використання засобів графічного програмування в навчальному процесі, зокрема, їх застосуванню з метою проведення лабораторних занять з технічних дисциплін. Актуальність теми обумовлена раптовими змінами умов навчання, та наявністю потреби швидко знайти заміну традиційним формам навчання на такі, що здатні забезпечити навчання у дистанційному режимі. В науковій, технічній та методичній літературі наразі відсутні практичні рекомендації та не представлено досвід щодо вирішення цієї задачі саме в такій постановці. В дослідженні показано, що її вирішення стає можливим завдяки використанню засобів графічного програмування. В статті обґрунтовується вибір системи програмування, розглядаються варіанти початкових занять, висвітлюється отриманий досвід у застосуванні середовища Simulink. Вказуються переваги та недоліки вибраної системи у ракурсі її використання для навчальних цілей. Надаються рекомендації щодо послідовності створення та подання студентам на виконання робіт. В результаті проведених досліджень показано, що завдяки застосуванню засобів графічного програмування вирішується задача проведення лабораторних робіт у дистанційному режимі навчання; підвищується інтерес студентів до навчання; прискорюється навчальний процес. Отриманий досвід в цілому підтверджує, що використання графічного програмування є ефективним засобом для проведення навчання студентів технічних спеціальностей.

Ключові слова: вища освіта, дистанційне навчання, графічне програмування.

Постановка проблеми. Неочікувані, раптові зміни умов навчання у зв'язку з необхідністю забезпечення стримування розповсюдження вірусної інфекції привели до ситуації, коли викладачам вишів потрібно було дуже швидко, фактично в аварійному режимі, знайти засоби заміни традиційних форм навчання на такі, що здатні забезпечити навчання у дистанційній формі. Одним з найскладніших завдань виявилась задача заміни форми проведення лабораторних занять на таку, що може бути відтворена студентами за межами навчальних лабораторій. Вирішення цієї задачі стало можливим завдяки використанню засобів графічного програмування.

Мета дослідження. Метою дослідження, результати якого представлені в даній статті, є пошук форм проведення лабораторних занять, які зможуть забезпечити потрібну якість отримуваних знань в умовах навчання у дистанційному режимі. Зокрема досліджуються можливості використання засобів графічного програмування задля вирішення зазначеної вище проблеми

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Графічні засоби програмування являють собою різновид інструментального програмного забезпечення, яке на відміну від звичайних мов програмування, заснованих на створенні програмного продукту шляхом написання текстових інструкцій, використовує графічні об'єкти та зв'язки між ними у вигляді відповідних ліній та стрілок для опису функцій створюваного програмного продукту. Цей напрямок програмування з'явився наприкінці двадцятого сторіччя, й він став відповіддю на зростаючі потреби в швидкому створенні нових і нових програм для керування промисловими об'єктами, зокрема для створення АСУ ТП. Основною перевагою цього методу програмування є те, що написання програм більш не потребує залучення професійних програмістів. Створення програм може здійснюватися безпосередньо спеціалістами у тій предметній галузі, до якої ця програма має бути застосована. Саме так побудовано графічні мови програмування LD, FBD, SFC, які стали стандартом [1] у сфері програмування промислових програмованих логічних контролерів. Цей підхід також відкрив новий напрямок у комп'ютерному моделюванні систем, у проведенні наукових досліджень та побудові різноманітних комп'ютерних експериментів. Використовуючи графічні мови програмування, які розвилися до цілих систем програмування, а надалі й до середовищ та платформ, стало можливим легке створення комп'ютерних моделей та проведення симулювання силами самих наукових фахівців. Найбільш потужним пакетом, що реалізує середовище для проведення моделювання, в наш час є система MATLAB&Simulink [2] фірми The MathWorks. Іншим відомим й широко застосованим середовищем для наукових досліджень є система LabVIEW [3] фірми National Instrument. Стосовно використання подібних систем для проведення навчання студентів технічних спеціальностей треба відзначити, що згадані системи якнайкраще підходять для подібного використання, що підтверджено рядом доповідей та статей фахівців у сфері освіти. У цьому зв'язку достатньо вказати, наприклад, статтю [4]. Не маючи на меті робити повний огляд опублікованих матеріалів на цю тему, яких достатньо багато, важливо зазначити, що всі автори підкреслюють позитивний вплив використання студентами графічних середовищ на процес навчання. Проте всі ці ро-

36

боти висвітлюють результати довготривалої підготовки та використання навчальних матеріалів. Як правило, по одній окремій дисципліні, по одному окремому курсу. У випадку раптової зміни форми навчання з очної на дистанційну, ситуація зовсім інша: необхідно дуже швидко надати студентам можливість почати виконувати лабораторні роботи відразу по декількох дисциплінах за відсутності доступу до навчальних лабораторій. Тому науково-педагогічним працівникам важливо отримати загальні практичні рекомендації з комплексного вирішення задачі відходу від використання приборів та технічного оснащення в лабораторних заняттях. Як це зробити швидко та якісно? Розкриття теми в науковій та методичній літературі саме в такому, практичному, ракурсі наразі відсутнє. Ця стаття ставить на меті заповнити цей пробіл.

Викладення основного матеріалу дослідження. В першу чергу дамо відповідь на питання, щодо вибору системи графічного програмування. Не вдаючись до обговорення особливостей різних середовищ, можна однозначно стверджувати, що вибір стоїть між системами Simulink та LabVIEW. Це виходить з огляду на їх функціональність, підтримку та наявність літератури щодо їх використання. З цих двох систем LabVIEW більш орієнтований на роботу з реальними об'єктами, на зв'язок з ними, на вимірювання. Simulink більш орієнтований власне на моделювання, на проведення комп'ютерного експерименту. Звичайно, зв'язок з реальним технічним об'єктом в умовах дистанційного навчання не може бути забезпечений, проте замінити реальний об'єкт комп'ютерною моделлю – це саме те, що можна забезпечити в системі Simulink. Крім того, інтерфейс Simulink значно простіший ніж в LabVIEW. Досвід показує, що студенти можуть почати працювати та створювати прості моделі вже під час першого заняття. Тому вибір середовища має відбутися на користь Simulink. Надалі всі пояснення та результати надаються саме щодо використання Simulink.

Графічні засоби програмування, легко засвоюються й не потребують практично ніякої попередньої підготовки, тому можуть надаватися студентам вже з першого – другого року навчання. Існує два варіанти щодо того, з виконання яких завдань слід починати застосовувати ці засоби. Перший такий. Студентам можна надавати вже готові моделі у вигляді віртуальних приборів та панелей, за допомогою яких вони можуть відпрацьовувати потрібні лабораторні завдання (рис.1).

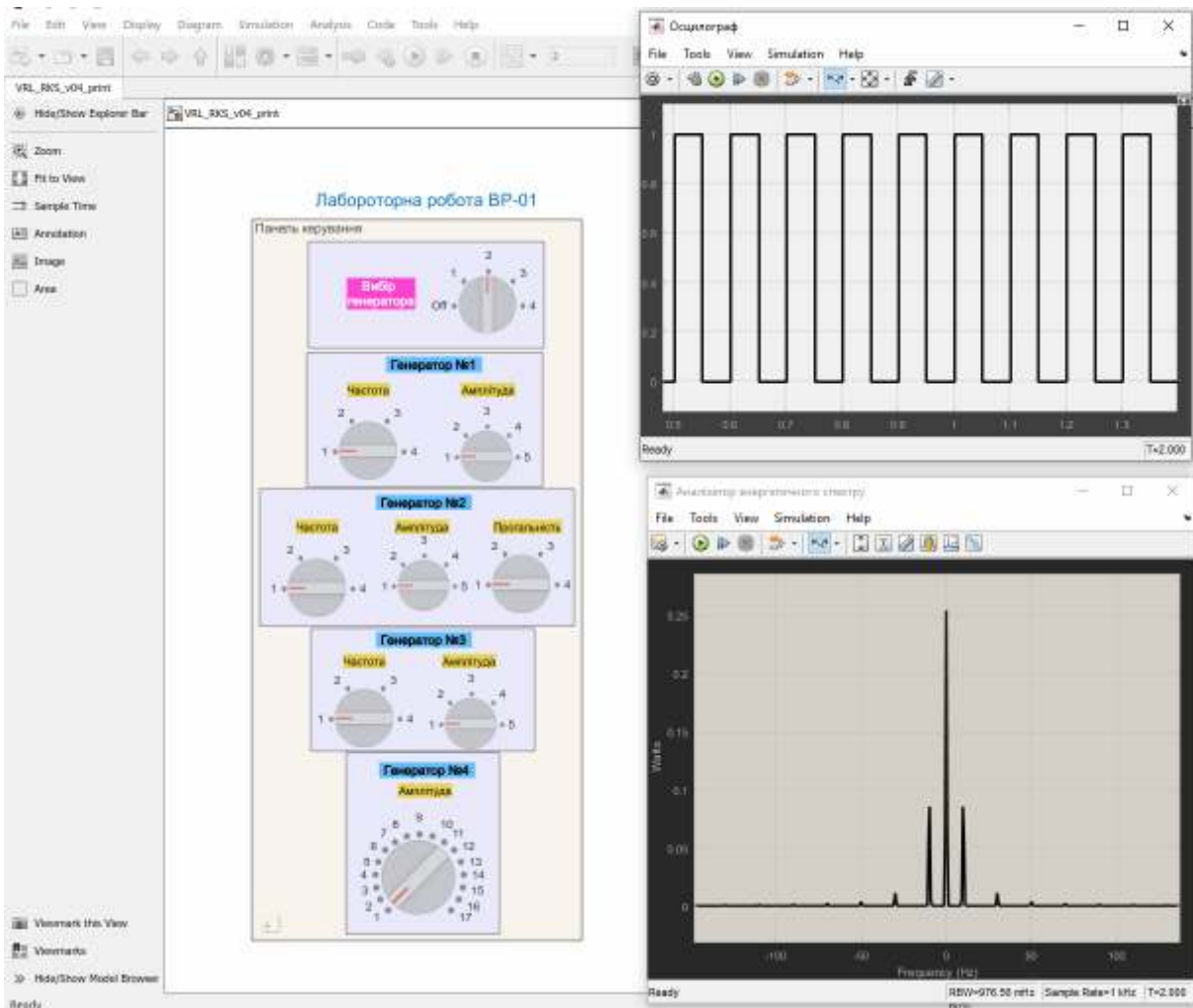


Рисунок 1 – Приклад реалізації віртуальних приборів та панелей

Згодом, на протязі навчання за різними дисциплінами, студенти можуть перейти й до самостійного створення моделей систем. Поле можливостей у використанні подібних систем в процесі навчання, насправді, є необмежним. Досвід показує, що їх використання викликає жвавий інтерес з боку студентів, які відразу бачать результати своєї роботи, й це значно прискорює процес навчання.

Проте можна й зразу починати з створення студентами моделей власноруч. Це можна робити в тих випадках, коли на лабораторні роботи виділено достатньо часу, частину якого можна витратити на ознайомлення з Simulink. Важливо відзначити, що сучасні студенти завдяки багатому досвіду використання різних комп'ютерних пристроїв і програм дуже легко засвоюють засоби графічного програмування. Фактично на протязі першого годинного заняття вони засвоюють основні принципи взаємодії з системою й самостійно створюють прості моделі. Це стає можливим завдяки зручному та інтуїтивно зрозумілому

інтерфейсу системи Simulink. Проте в роботі з цією системою існує певна незручність, а саме – відсутність україномовної, або російськомовної версії довідкової системи. Тому викладач, готуючи методичні вказівки з виконання роботи має включати в них окремі інструкції, пов'язані з роботою системи. Тим не менш, слід використовувати й те, що студенти працюють (дехто може повільно, проте всі) з англomовними версіями довідки. Проведений експеримент показав, що всі студенти здатні виконувати завдання з методичними вказівками, написаними повністю англійською. Таким чином, достатньо зробити ввідною лише одну лабораторну роботу, де студенти засвоюють навички роботи в системі. Всі інші слід спрямовувати на створення та дослідження моделі (рис. 2), тобто вже на використання Simulink. Рационально йти шляхом нарощування моделі, підвищення її складності. Кожна наступна робота є продовженням попередньої. Таким чином одночасно засвоюються й предметні знання, й засоби графічного моделювання. Згодом, після п'яти-шести занять, можна буде зосередитися виключно на предметній частині.

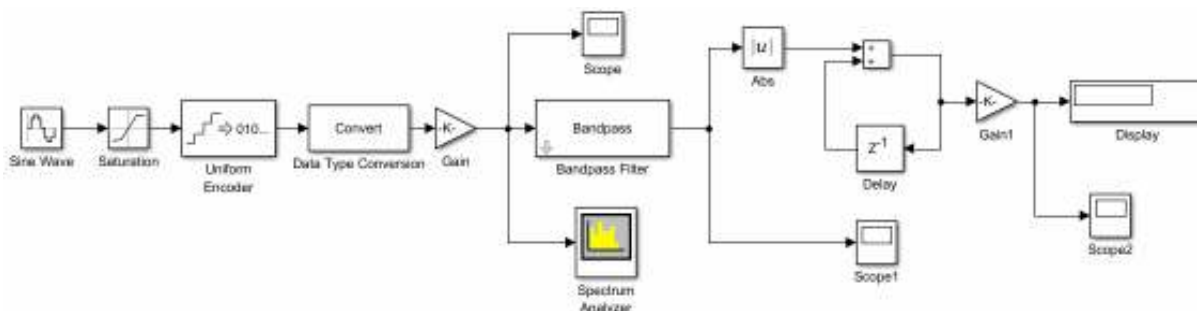


Рисунок 2 – Приклад моделі Simulink

Система Simulink дозволяє графічними засобами відтворювати комп'ютерні моделі з самих різних предметних сфер, як то електротехніка, електроніка, радіотехніка, системи керування, системи масового обслуговування, статистика. Особливо цікавим є набори блоків розділу Simscape, який дозволяє створювати та досліджувати моделі гідравлічних, пневматичних, електричних, магнітних, механічних, теплових та інших фізичних систем та явищ, використовуючи елементи відповідних гідравлічних, пневматичних, електричних та т.і. схем.

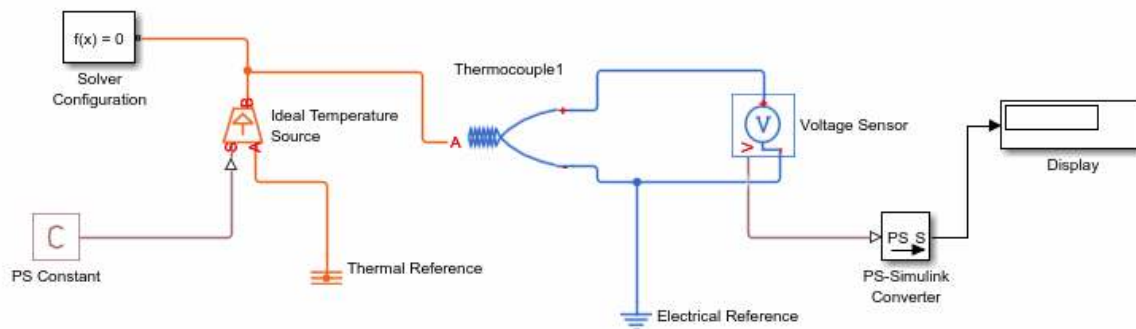


Рисунок 3 – Приклад побудови моделі за допомогою Simscape

На підготовку однієї лабораторної роботи, яка реалізує віртуальні прибори та панелі (рис. 1) необхідно приблизно 40 годин роботи науково-педагогічного працівника, звичайно, за умови наявності в нього достатнього рівня володіння системою Simulink. На формулювання ідеї, створення та відпрацювання моделі припадає близько половини цього часу. Друга половина часу витрачається на підготовку даних, варіантів та написання методичних вказівок. В випадку підготовки лабораторної роботи, яка передбачає самостійне створення моделі, час на її розробку приблизно вдвічі менший. Конкретна кількість годин залежить від того, чи створюється нова, початкова модель, яка буде згодом розвиватися (тоді потрібно більше часу), чи це вже її розвиток та дослідження.

В цілому, слід очікувати, що після отримання досвіду роботи у дистанційному режимі, після активного використання засобів комунікацій та інтеграції процесів, як-то Microsoft Teams, повернення до звичайної очного навчання буде супроводжуватись підвищенням ваги віртуальних форм навчання та, зокрема, більш широким використанням засобів графічного програмування. Діяти у цьому ж напрямку спонукає вищі навчальні заклади й економічний чинник, а також незворотній процес зношення приладів та технічного устаткування лабораторій.

Висновки. В результаті застосування засобів графічного програмування в процесі навчання студентів технічного спеціальностей:

- 1) вирішується задача проведення лабораторних робіт у дистанційному режимі навчання,
- 2) підвищується інтерес студентів до навчання,
- 3) прискорюється навчальний процес.

Отриманий досвід підтверджує, що використання графічного програмування є ефективним засобом для проведення навчання студентів технічних спеціальностей.

ЛИТЕРАТУРА / ЛИТЕРАТУРА

1. IEC 61131-3 Programmable controllers – Part 3: Programming languages – Edition 3.0 2013-02 [Електронний ресурс] // Сайт International Electrotechnical Commission, – Режим доступу: <https://webstore.iec.ch/publication/4552>
2. Сторінка MATLAB на сайті The MathWorks [Електронний ресурс], Режим доступу: www.mathworks.com.
3. Сторінка LabVIEW на сайті National Instrument [Електронний ресурс], Режим доступу: <https://www.ni.com/en-us/shop/labview.html>
4. Невмержицький І.М., Дацків Ю.І., Сидоренко Д.С., Оленін О.М. Досвід використання в освітньому процесі університету Simulink-додатків для візуально-імітаційного моделювання алгоритмів перешкодозахисту радіолокаційних станцій радіотехнічних військ // Системи обробки інформації, Збірник наукових праць. – Випуск 1 (156). – Харків, 2019. – С. 112 – 115.

REFERENCES

1. IEC 61131-3 Programmable controllers – Part 3: Programming languages – Edition 3.0 2013-02 [Electronic source] // Website of International Electrotechnical Commission, – Access mode: <https://webstore.iec.ch/publication/4552>
2. MATLAB page on website of The MathWorks [Electronic source], Access mode: www.mathworks.com.
3. LabVIEW page on website of National Instrument [Electronic source], Access mode: <https://www.ni.com/en-us/shop/labview.html>
4. Nevmerzhytskyi I.M., Datskiv Yu.I., Sydorenko D.S., Olenyn O.M. Experience of using Simulink-applications for visual-imitation simulation of radio-technical troops radar stations noise immunity algorithms in educational process // Information Processing Systems, Digest of scientific works. – Issue 1 (156). – Kharkiv, 2019. – P. 112 – 115.

Received 21.03.2021.

Accepted 26.03.2021.

Применение средств графического программирования в процессе обучения студентов технических специальностей

Рассматриваются практические аспекты использования средств графического программирования в учебном процессе, в частности их применение с целью проведения лабораторных занятий по техническим дисциплинам. Обосновывается выбор системы программирования, рассматриваются варианты начальных занятий, освещается опыт в применении среды Simulink. Указываются преимущества и недостатки данной системы в

ISSN 1562-9945 (Print)
ISSN 2707-7977 (Online)

ракурсе ее использования для учебных целей. Даются рекомендации по последовательности создания и представления студентам на выполнение лабораторных работ на основе графических средств программирования.

Using graphic programming tools in technical science student's education

The article is devoted to practical aspects of using graphic programming tools in the educational process, and, particularly, to their application for performing laboratory classes in technical disciplines.

The unpredictable rapid changing in conditions for providing education process due to coronavirus restrictions have required a new manner of how to conduct teaching in remote mode. This task urgently required to be resolved in the short term. But there were no published sources that contain practical advises and described real experience how to do this. Thus, the presented article is an attempt to close this gap. Due to results presented in the article this task could be resolved by using graphic programming languages that opens a field of possibilities for students in using models to explore properties of a real object by means of simulation of the virtual analog. It is argued the selection of programming system, the variations of beginning lessons are considered, the experience in using such system as Simulink is revealed. The advantages and disadvantages of the selected system are indicated from the point of view of its application to the educational process. There are some recommendations for building the sequence of laboratory classes on the base of graphic programming tools. In the beginning these models could be developed preliminary and delivered for students to explore them and then, with more students' experience and skills, the models could be created by students themselves. The real experience obtained during on-line education phase demonstrates that this approach increases students' interest for learning and accelerate the educational process. One more conclusion is that virtual laboratory classes as well as all other achievements in using remote mode of education should be implicated in the educational process when it returns to conventional mode of functioning.

Мазуренко Валерій Борисович – Дніпровський національний університет, фізико-технічний факультет, канд. техн. наук, доцент кафедри радіоелектронної автоматики.

Мазуренко Валерий Борисович – Днепровский национальный университет, физико-технический факультет, канд. техн. наук, доцент кафедры радиоэлектронной автоматики.

Mazurenko Valeriy Borisovich – Oles Honchar Dnipro National University, Physical and Technical Faculty, Doctor of Philosophy, docent of Chair of Radioelectronic Automation.

О.П. Морозенко, Н.Ю. Грибанова

**ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ
ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ВИКЛАДАННЯ ГРАФІЧНИХ ДИСЦИПЛІН ДЛЯ
СТУДЕНТІВ З ВАДАМИ СЛУХУ ЗА СПЕЦІАЛЬНОСТЯМИ
«ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ» ТА «ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА»**

Анотація. Розглядаються шляхи підвищення ефективності навчання осіб з порушенням слуху, аналізуються особливості викладання інженерно-графічних дисциплін студентам. Описано освітні технології графічних дисциплін з використанням інноваційних методів навчання для даною категорії студентів, що сприяють інформатизації освіти; підстави підвищення якості графічної підготовки фахівців; інноваційні методики читання лекцій, проведення практичних занять по графічним дисциплінам. Зазначаються фактори, що сприяють успішному навчанню та соціалізації студентів.

Ключові слова: інноваційні методи навчання, мультимедійні засоби, графічні редактори, нарисна геометрія, інженерна графіка, моделювання, візуалізація.

З усього різноманіття мовних систем і мов, створених світовою культурою, графічна мова є унікальною в поданні науково-технічної інформації, що дозволяє їй стати професійно-орієнтованою мовою в інжинірингу. Графічна культура стає другою грамотністю, однією зі складових професійної інженерної компетентності. Особливу роль мова графіки грає в технічній освіті студентів з вадами слуху. У професійному плані мова графіки необхідна фахівцям з вадами слуху як міжнародна мова технічного спілкування, зрозуміла без вербального супроводу.

Нарисна геометрія розвиває просторове мислення, слабо розвинене у студентів з вадами слуху, їх здатності до аналізу, синтезу і перетворення геометричних форм, що особливо необхідно при сучасній ідеології проектування. Візуалізація інформації про об'єкти, процеси та явища в будь-якій області людських знань здійснюється засобами графічної мови, за допомогою візуального ряду геометричних образів - точок, відрізків, прямих і дуг плоских кривих ліній. Інженерна графіка дає навички читання та складання технічної документації, робота з якою доступна для цього контингенту.

© Морозенко О.П., Грибанова Н.Ю., 2021

Традиційні для вузів методики і технології проведення занять не розраховані на студентів з вадами слуху, і спираються, в основному, на вербальну передачу навчальної інформації, що створює бар'єри в сприйнятті і засвоєнні графічного і текстового навчального матеріалу.

Завдання розвитку просторових уявлень у студентів з порушенням слуху, здатності до узагальнення полягає в тому, щоб навчити їх бачити геометричні образи в навколишній обстановці, розуміти їх властивості, оцінювати форму, розташування, величину, аналізувати взаємні просторові залежності, конструювати, перетворювати і комбінувати фігури, зображувати їх на кресленні, коректно виконувати вимірювання.

У НМетАУ багато років отримують вищу освіту студенти з вадами слуху за напрямками підготовки «Комп'ютерні науки та інформаційні технології», «Галузеве машинобудування», «Механічна інженерія». За цей час напрацьований певний досвід у викладанні інженерно-графічних дисциплін для даної категорії студентів. Проблема поліпшення якості освіти диктує необхідність пошуку інноваційних підходів навчання. У зв'язку з психофізичними особливостями даної категорії студентів, формуються невеликі групи, що включають в свій склад студентів з різним ступенем втрати слуху. Враховуючи складність навчального матеріалу в ВНЗ, робота сурдоперекладачів потребує певної освідченості. В ході занять проводиться спеціальна словникова робота: викладач та сурдоперекладач роз'яснюють значення складних понять та незнайомих слів. Для покращення цієї роботи рекомендуються навчальні посібники [1], [2], в яких наведено трактування основних понять та визначень, їх аналіз і зв'язок із практикою.

Однією з особливостей педагогічної технології для таких студентів є переважне використання візуальної репрезентації навчальної інформації на всіх етапах освітнього процесу. Впроваджуючи технічні засоби в процес навчання інженерно-графічним дисциплінам, ми реалізуємо принцип наочності навчання, що забезпечує засвоєння знань студентами.

З метою методичної підтримки дисциплін “Інженерна, комп'ютерна графіка та нарисна геометрія”, “Основи твердотілого моделювання фізичних об'єктів” для студентів з вадами слуху викладачами кафедри розроблено та впроваджено в навчальний процес комплекс документації з застосуванням нових інформаційних технологій на всіх етапах навчального процесу. Його особливість полягає в тому, що, зберігаючи традиції класичного курсу інженерної графіки, він методично орієнтований на психофізіологічні особливості студен-

тів з вадами слуху. Сформована єдина система теоретичних, практичних та лабораторних занять з поетапної комп'ютерною підтримкою і контролем знань в умовах аудиторної та позааудиторної роботи з підтримкою спеціально розроблених дидактичних матеріалів.

Видані навчальні підручники ” Комп'ютерні методи нарисної геометрії та інженерної графіки ”[3], ” Основи твердотілого моделювання фізичних об'єктів” [4], конспект лекцій [5], які існують як в друкованому так і в електронному виглядах.

Інтерактивні лекції є однією з організаційних форм, які використовують в процесі навчання студентів з порушенням слуху. Використання розвинених засобів графіки полегшує це завдання. Комп'ютерні засоби навчання дозволяють: а) візуалізувати досліджуваній об'єкт (наприклад, поверхні, деталі); б) розвинути певний тип мислення (наприклад, наочно-образний, теоретичний).

Обов'язковими елементами кожного заняття під час навчання студентів є назва теми, постановка мети, повідомлення і запис плану заняття, виділення основних понять і методів їх вивчення, вказівка видів діяльності студентів і способів перевірки засвоєння матеріалу.

Студенти на початковому етапі вивчення не володіють достатньою здатністю легко і швидко, а головне правильно, перекреслити умову розв'язуваної задачі. Для вирішення даного питання нами вже кілька років успішно використовуються робочі зошити, розроблені відповідно до робочої навчальної програми [6] . У зошиті виконані графічні заготовки для вирішення завдань, що не вимагає часу на перекреслення умови і виключає відмінності між представленим рішенням в презентації викладача та рішенням завдання студентами. Розроблено також електронний варіант робочого зошита.

Курс лекцій по дисципліні ” Основи твердотілого моделювання фізичних об'єктів” супроводжується як учбовою презентацією, так і демонстрацією викладачем роботи в графічних редакторах з виводом матеріалу на мультимедійний екран. Лабораторні заняття по даному курсу формують навички 2D-і 3D-моделювання. Видача завдання викладачем здійснюється індивідуально і диференційовано. Не відступаючи від традиційних навичок представлення графічної інформації при виконанні завдань (плоский контур, креслення деталей і складальних одиниць, деталювання креслень), ми заклали в концепцію опрацювання цих же завдань із застосуванням нових інформаційних технологій. Наочній візуалізації зображень допомагають рисунки деталей, що демонструє викладач та 3D-моделі. На ескізах опрацьовуються рішення, здійснюється ком-

понування, перевіряється правильність вибору кількості і складу зображень, проставляння розмірів та ін. При виконанні ескізів, користуванні циркулем, лінійкою, вимірювальними інструментами розвивається тонка моторика. Студенти працюють з нормативними документами, довідниками та іншими джерелами інформації, що дозволяє узагальнювати і систематизувати інформацію. Викладач регулює процес і займається його загальною організацією, дає консультації, контролює час і порядок виконання завдання. Виконання цієї роботи показує рівень засвоєння знань відразу в декількох аспектах: здатність читати креслення, що розвиває просторову уяву, знання правил проставляння розмірів, вміння оптимізувати креслення за кількістю зображень. Далі йде процес його комп'ютерного втілення, виконання 2D і 3D-моделювання.

Дуже важливим при підготовці до занять викладачем є підготовка різноманітних дидактичних матеріалів, виходячи з навчальних можливостей студентів (рівня засвоєння знань), індивідуального темпу роботи. Якщо вивчати поспідовно і окремо спочатку елементи нарисної геометрії, потім інженерної графіки і на завершальному етапі способи виконання креслень з використанням засобів комп'ютерної графіки, то виділених навчальних годин, як правило недостатньо, для засвоєння зазначених розділів. Необхідно на початковому етапі вивчення графічних дисциплін приступити до виконання завдань за темами інженерної графіки з використанням методів нарисної геометрії і сучасних засобів графічних комп'ютерних систем. При такому підході з'являється можливість показати взаємозв'язок різних тем зазначених розділів при побудові зображень креслень технічних виробів (табл. 1.).

Таблиця 1

Назва графічних завдань	Розділи нарисної геометрії	Розділи інженерної графіки	Розділи комп'ютерної графіки
Тема1 Зображення об'єктів простору на площині	Центральне та паралельне проєкціювання.	Стандартні аксонометричні проєкції.	Побудова наочних зображень на основі використання команд 3D моделювання.
Тема 2 Побудова наочних зображень предметів в аксонометрії	Засоби проєкціювання. Аксонометричні проєкції.	Прямоугольна та косоугольна ізометрія та симетрія.	

Таким чином, основними напрямками інноваційних підходів підвищення якості викладання графічних дисциплін для студентів з вадами слуху є:

- модернізація форми викладу навчального матеріалу на базі нових інформаційних технологій у вигляді електронних лекцій, вправ, лабораторних робіт, навчальних посібників;
- зміна організації навчального процесу в бік збільшення самостійної роботи студентів, в тому числі і на персональних комп'ютерах;
- коригування навчального матеріалу відповідно до необхідності ущільнення знань і формування індивідуальних освітніх траєкторій;
- моніторинг засвоєння знань і навичок.

В результаті інноваційних підходів при викладанні графічних дисциплін спостерігається усвідомлення студентами значимості графічної підготовки в майбутній професійній діяльності. Візуальна освіченість дозволяє наочно відображати будь-які об'єкти та процеси, що дозволяє студентам з вадами слуху долати бар'єри в освоєнні інших дисциплін. В соціальному плані володіння графічною мовою грає для глухих особливу комунікативну роль дозволяючи без допомоги слів проблему розуміння.

Треба зазначити, що однією з умов зміни способу життя людей з порушенням слуху, їх повноцінного соціального включення та незалежності в майбутньому є можливість отримання ними професійної освіти, можливість бути конкурентоспроможними на ринку праці.

ЛІТЕРАТУРА / ЛІТЕРАТУРА

1. Михайленко В.Є. Тлумачення термінів з прикладної геометрії, інженерної та комп'ютерної графіки/ В.Є. Михайленко, В.М. Найдиш: Навчальний посібник-К.:Урожай, 1998.-200 с.
2. Морозенко О.П. Українсько-російсько-англійський словник термінів з рисної геометрії, інженерної та комп'ютерної графіки/ О.П. Морозенко, Н.М. Харченко.- Дніпропетровськ: НМетАУ, 2012. – 28 с.
3. Морозенко О.П. Комп'ютерні методи рисної геометрії та інженерної графіки/ О.П. Морозенко, І.В. Вишневський: Частина 3: Навч. посібник.–Дніпро: НМетАУ, 2018. –44с.
4. Морозенко О.П. Основи твердотілого моделювання фізичних об'єктів/ О.П. Морозенко, І.В. Вишневський, Г.В. Малишко: Частина 1: Навч. посібник– Дніпро: НМетАУ, 2020. – 64 с.

5. Морозенко О.П. Комп'ютерні методи нарисної геометрії та інженерної графіки/ О.П. Морозенко, Г.В. Малишко: Частина 3: Конспект лекцій. -Дніпро: НМетАУ, 2019,-48с.
6. Морозенко О.П. Інженерна графіка. Робочий зошит для самостійної роботи та практичних занять для студентів усіх спеціальностей (бакалаврський рівень) / О.П. Морозенко, І.В. Вишневський: – Дніпро: НМетАУ, 2019. – 28 с.

REFERENCES

1. Mikhailenko V.Є. Tlumachennya terms s applied geometry, engineering and computer graphics / V.Є. Mikhailenko, V.M. Naidish: Navchalnyy posib-nick-K.: Harvest, 1998.-200 p.
2. Morozenko O.P. Ukrainian-Russian-English vocabulary of terms in rice geometry, engineering and computer graphics / O.P. Morozenko, N.M. Kharchenko. - Dnipropetrovsk: NMetAU, 2012. - 28 p.
3. Morozenko O.P. Computer methods of drawing geometry and engineering graphics / O.P. Morozenko, I.V. Vishnevsky: Part 3: Navch. Book. - Dnipro: NMetAU, 2018 .- 44 p.
4. Morozenko O.P. Basics of solid model of physical objects / O.P. Morozenko, I.V. Vishnevsky., G.V. Malishko: Part 3: Navch. Book.- Dnipro: NMetAU, 2020. - 64 p.
5. Morozenko O.P. Computer methods of drawing geometry and engineering graphics / O.P. Morozenko, G.V. Malishko: Part 3: Lecture notes. -Dnipro: NMetAU, 2019, -48p.
6. Morozenko O. P. Engineering graphics. Workbook for independent work and practical training for students of all specialties (bachelor's degree) / O.P. Morozenko, I.V. Vishnevsky: - Dnipro: NMetAU, 2019 .- 28 p.

Received 24.03.2021.

Accepted 26.03.2021.

Инновационные подходы и информационные технологии для повышения качества преподавания графических дисциплин для слабослышащих студентов по специальностям «Отраслевое машиностроение» и «Прикладная механика»

В статье поднимается проблема обучения с студентов нарушениями слуха и описывается опыт применения методической системы обучения графическим дисциплинам.

Рассмотрены пути повышения эффективности обучения слабослышащих, показано значение знаний графических дисциплин в техническом образования для этой категории студентов.

Рассматриваются образовательные технологии графических дисциплин с использованием инновационных методов обучения. Приведены инновационные методики чтения лекций и проведения занятий по графическим дисциплинам.

Указываются факторы, способствующие успешному обучению и социализации студентов.

Innovative approaches and information technologies to improve the quality of teaching graphic disciplines for students with hearing impairments in the specialties

"Industrial engineering" and "Applied mechanics"

The article raises the problem of teaching hearing impaired and describes the experience of the application of methodical system of student-oriented training to graphic disciplines.

Ways to increase the efficiency of training for people with hearing impairments are considered, the importance of knowledge of graphic disciplines in the technical education for this category of students is shown, features of teaching engineering and graphic disciplines for students are analyzed.

We consider the educational technology of graphic disciplines using innovative teaching methods that contribute to the informatization of education for this category of students; conceptual basis for improving the quality of graphic training of young professionals with technical education; innovative methods of lecturing, conducting practical classes in graphic disciplines; applied computer programs and their practical application in the study of graphic disciplines.

Various approaches to teaching graphic disciplines for students with hearing impairments are shown, and the chosen teaching method training area is substantiated. It is most efficient to organize the learning process in parallel, optimally connecting the manual and computer execution of the drawings.

The use of information and communication technologies in special education opens up new perspectives for training, to optimize the process of learning by students ; stimulating the emergence of new learning technologies facilitates the communication process allows to realize their potential , promotes the expansion of social ties.

Морозенко Олена Петрівна - Національна металургійна академія України, доцент, к.т.н., кафедра технології машинобудування.

Грибанова Наталія Юріївна - Національна металургійна академія України, асистент, кафедра технології машинобудування.

Морозенко Елена Петровна - Национальная металлургическая академия Украины, доцент, к.т.н., кафедра технологии машиностроения.

Грибанова Наталья Юрьевна - Национальная металлургическая академия Украины, ассистент, кафедра технологии машиностроения.

Morozenko Olena Petrivna - National Metallurgy Academy of Ukraine, Associate Professor, Ph.D., Department of Technology of Machine Building.

Gribanova Natalia Yuriyivna - National Metallurgical Academy of Ukraine, assistant, Department of Technology of Machine Building.

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ПРОГРАМНИХ РІШЕНЬ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ПРОБЛЕМНО-ОРІЄНТОВАНИХ МОВ ПРОГРАМУВАННЯ

Анотація. Мови для вирішення задач із конкретних доменів потребують структур даних та функціоналу для їх перетворення що характерні саме для даного домену. Таким чином програмування за допомогою таких мов спирається на конструкти, що можуть бути зовсім не зрозумілі для комп'ютера, але фахівець у проблемній області одразу зрозуміє, що саме відбувається. Для пришвидшення і популяризації створення проблемно-орієнтованих мов програмування виникли автоматизовані системи підтримки проєктування мов. Дані засоби забезпечують в рамках кінцевого продукту : засоби для інтерпретації мови, текстові редактори орієнтовані на мову та додаткові інструменти мовної інженерії. Однак розвиток даних засобів є не системним та нерегульованим жодними стандартами, що призводить до зростання кількості часу на навчання для роботи з такими інструментами та кількості часу на вибір необхідного інструменту для конкретної задачі. В статті наводиться порівняльна характеристика деяких засобів для створення проблемно-орієнтованих мов програмування. Визначені основні критерії для порівняння та запропоновані критерії що не реалізовані в описаних засобах. Наприкінці статті наводяться висновки отримані в результаті порівняння та пропозиції до покращення існуючих інструментів .

Ключові слова: проблемно-орієнтовані мови, текстова нотація, декларативне програмування, системи підтримки проєктування мов програмування, інтегровані засоби розробки, TEF, TCS, EMFText.

Постановка проблеми. Проблемно-орієнтоване програмування відкриває нові можливості для використання абстракцій вищого рівня, та генерації продуктивного коду для вирішення сучасних проблем. Звичайно ідея не є істотно новою та є дуже схожою до перетворень мов програмування високого рівня в асемблери, з використанням компіляторів. Тим часом розробники програмного забезпечення потребують засобів для вираження проблем конкретної доменної області. За часту використання мов програмування загальної орієнтації не вистачає для виконання таких задач. Результатом вирішення такої проблеми і стає проєктування проблемно-орієнтованих мов програмування. В процесі

автоматизації проєктування і впровадження проблемно-орієнтованих мов програмування в розробку почали з'являтися засоби підтримки створення таких мов. Дані засоби забезпечують систематизований підхід до створення нової мови, ефективну підтримку мові після випуску її релізу та додаткові можливості для виправлень і доповнень. В даній статті ми порівнюємо існуючі засоби проєктування проблемно-орієнтованих мов програмування що базуються на платформі eclipse.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Системи підтримки проєктування мов програмування (СППМП) як засоби для створення проблемно-орієнтованих мов популяризував Мартін Фаулер у 2010 році [1]. Такі засоби забезпечують ефективне проєктування, повторне використання та підтримку мов та їх інтегрованих засобів розробки. СППМП надають можливості широкому колу інженерів до розробки нових мов і, як наслідок, створюють новий рівень мовної інженерії, де набори синтаксично та семантично інтегрованих мов можуть бути розроблені із порівняно невеликими зусиллями. Це може призвести до появи середовищ програмування з багатьма парадигмами та метамови, орієнтованих на створення мови [2, 3], які можуть вирішити важливі завдання програмної інженерії.

Із початком створення мов програмування розробники створювали інструменти, що полегшують розвиток мови та її продуктивніше використання. Найперші системи підтримки проєктування мов програмування з'явилися в наукових дослідженнях американських та японських вчених 1980-1989 роках. Досягнення даних досліджень отримали розвиток в двох напрямках: системи проєктування із графічною та текстовою нотацією. Графічні СППМП які розробляються донині, включають MetaEdit+, DOME, та GME. З іншого боку, СППМП що підтримують текстові нотації включають Centaur, the Synthesizer generator, the ASF+SDF Meta-Environment, GemMex/Montages, LRC. Оригінально ці системи базувались на інструментах для формальної специфікації мов програмування загального призначення. Незважаючи на це, багато з них були використані для проєктування проблемно-орієнтованих мов[4].

СППМП з текстовою нотацією розроблені в 2009-2011 роках TEF TCS EMF JastAdd, Rascal, Spoofax [5], можна розглядати як наступників цих систем, що використовують досягнення в технології мовної інженерії основних середовищ розробки. У той же час проєкційні мовні робочі середовища, такі як Intentional, відроджують і вдосконалюють стару ідею редакторів структур мов програму-

вання, відкриваючи можливість поєднання парадигм на концептів програмування.

Протягом усього свого розвитку в промисловості використовувались СППМП та мови, що стосуються конкретних доменів. Приклади включають:

- Eurofighter Typhoon, із використанням засобів IPSYS's HOOD (пізніше ToolBuilder).

- Nokia's feature phones , із використанням MetaEdit+.

- WebDSL та Mobl для розробки веб додатків та мобільних додатків відповідно розроблені із допомогою Spoofox[6]

- R ISLA , проблемна орієнтована мова для розрахунку процентної ставки продуктів[7], із використанням A SF +S DF .

- Polar монітори серцевого ритму та спортивні годинники, розроблені із використанням MetaEdit+.

- Проблемно-орієнтована мова для потреб цифрової криміналістики, розроблена із використанням Rascal.

Наразі системи підтримки проєктування мов програмування мають значне зростання кількості та різноманітності, що зумовлено високим науковим та промисловим інтересом. Існуючі засоби настільки різні за дизайном, підтримуваними функціями та використаною термінологією, що користувачам та розробникам важко зрозуміти основні принципи та альтернативи дизайну. Для подолання проблем, що пов'язані із різноманітністю існуючих засобів, необхідним є їх систематичний огляд та порівняння.

Мета дослідження. Таким чином, виникає необхідність дослідження ефективності існуючих систем підтримки проєктування мов програмування з отриманням критеріїв якості процесу проєктування проблемно-орієнтованих мов програмування. Також, необхідно з'ясувати, які системи підтримки проєктування найкраще забезпечують ефективну розробку проблемно-орієнтованих мов.

Викладення основного матеріалу дослідження. Для проведення якісного порівняння існуючих систем підтримки проєктування мов програмування необхідно визначити критерії для порівняння. Ми пропонуємо порівнювати дані засоби за вимогами які класифікують продукт як сучасне програмне забезпечення. Основними нашими параметрами є : можливість створення проблемно-орієнтованих мов ,підтримка для інтегрованих засобів розробки, під-

тримка комбінування мов, підтримка внесення змін в створену мову, забезпечення базових можливостей проведення тестування мови, інтеграція з іншими засобами програмної інженерії. Окремим пунктом що є показником високого рівня розвитку систем підтримки проєктування є наявність метрик для оцінювання вихідного результату. Дана можливість є відсутньою для класичних інтегрованих засобів розробки так як їх основний фокус іде на розробку програмного забезпечення без специфікації доменної області. Така ситуація унеможлиблює будь-які порівняння результуючих продуктів через те що для веб додатку відповідь серверу в 3 секунди може бути зависокою а для веб платформи для обробки надвеликих даних це найменший час відповіді серверу. Описані вище критерії будуть використані для оцінки наступних СППМП : tef tcs та emf .

TEF (Textual Editing Framework) [8] спочатку був розроблений Маркусом Шейдгеном під час докторської дисертації в Берлінському університеті. Для конкретного синтаксису (CS) TEF забезпечує мову визначення синтаксису, що називається TSL (мова текстового синтаксису). TSL описує текстову нотацію для існуючої мета-моделі Ecore у файлі .etslt. За допомогою звичайних засобів Eclipse EMF (загальна модель) генерується необхідна підтримка EMF. Для перетворення проблемно-орієнтованої мови в модель TEF створює синтаксичний аналізатор RunCC, який інтерпретується під час виконання (RunCC уникає генерації коду). TEF генерує три різні редактори через точки розширення eclipse:

Текстовий редактор. Даний компонент аналізує текстові моделі та дозволяє їх комфортно редагувати.

1. Редактор на основі моделі. Редактор на основі моделі діє як вдосконалений загальний редактор Ecore. Насамперед це редактор дерев, але можливі й інші нотації. Тут не проводиться синтаксичний розбір тексту, оскільки редагування “стилю” цього не дозволяє.

2. Вбудований редактор Це текстовий редактор, вбудований в редактор дерев на основі моделі. На кожному елементі моделі користувач може відкрити текстовий редактор за допомогою гарячої клавіші.

Отже, TEF поєднує різні стилі редагування (на основі дерева / тексту). Створений редактор підтримує виділення синтаксису, завершення коду, навігацію та посилання, згортання, анотацію помилок та кілька інших функцій. Перевірка моделі можлива за допомогою проєктів Eclipse Modeling.

TCS (Textual Concrete Syntax) [9] був розроблений Фредеріком Жуо з EMN (Ecole des Mines в Нанті) та командою ATLAN-Mod. Він також є частиною проє-

кту eclipse TMF і використовується в інших проектах eclipse, наприклад ATL2. Абстрактний синтаксис зазначений в текстовій мові для метамодельовання, що називається KM3 . Після збереження TCS на ходу генерує відповідний файл Ecore. Конкретний синтаксис вказаний у файлі .tcs. Знову ж таки, при збереженні відповідний парсер ANTLR в процесі роботи TCS, таким чином, дозволяє уникнути великої кількості непотрібної генерації коду, який часто зустрічається в інших інструментах. TCS уникає якомога більше генерації коду, а отже, дозволяє дуже швидко і коротко проходити цикли. Для впровадження оновлень в мову немає необхідності перезапускати середовище розробки, збереження файлів оновлює контекст виконання. Для редагування та створення проблемно-орієнтованої мови, що відповідає потребам користувача, TCS пропонує текстовий загальний редактор (TGE). TGE підтримує підсвічування синтаксису, гіперпосилання та підказки для кожної мови, текстовий синтаксис якої вказаний у TCS. За потреби TGE можна додатково налаштувати під конкретні потреби / компонування. Перевірка моделі можлива за допомогою проектів Eclipse Modeling або, бажано, безпосередньо за допомогою мови ALT. TCS підтримує роботу із понад 50 мовами на своєму веб-сайті. TCS також повторно використовується Furgas, іншим інструментом TMF.

EMFText [10] спочатку був розроблений як частина структури повторного програмного забезпечення в Університеті Дрездена. Згодом проект перейшов у розробку як незалежний інструмент. Подібно до TCS, EMFText дозволяє вказати конкретний синтаксис для існуючої моделі EMF (абстрактний синтаксис). Щоб дозволити EMFText використовувати моделі під час виконання, необхідно створити модуль EMF-моделі .

Конкретна специфікація синтаксису (файл .cs) складається з 3 блоків:

- Блок конфігурації, який містить ім'я, базову модель та кореневий клас Meta (символ запуску). За бажанням можна імпортувати інші синтаксиси та метамоделі та вказати параметри генерації.

- Розділ TOKEN, в якому можуть бути вказані лексеми для лексичного аналізатора.

- Розділ RULES, який визначає синтаксис кожного конкретного класу Meta. EMFText має деяку спеціальну підтримку для визначення синтаксису:

1. Автоматичне генерування синтаксисів за замовчуванням
2. Модульна специфікація (підтримка абстрактних синтаксисів та імпорту синтаксису)
3. Механізми розпізнавання посилань за замовчуванням та всебічний

синтаксичний аналіз, щоб попередити про потенційні проблеми синтаксису

У процесі роботи EMFText за замовчуванням створюється редактор. Розробники можуть перезаписати або налаштувати особливу поведінку. З коробки редактор підтримує декілька функцій IDE, наприклад, контур, підсвічування синтаксису (також через файл .cs), доповнення коду, обробку дужок та звичайну підтримку гіперпосилання та посилань. EMFText також підтримує роботу з приблизно 50 мовами, з мовами реального світу, такими як Java5.

Ми оцінили кожен із технологій на відповідність характеристикам необхідних для систем підтримки проектування проблемно-орієнтованих мов програмування. Порівняння наведено у таблиці 1. Можливість створення проблемно-орієнтованих мов. Деякі засоби СППМП мали на меті автоматизацію створення мов програмування загального використання. Ці мови не потребують детального опису домену, абстрактних типів даних домену та специфікованих методів перетворення даних. Відсутність можливостей розвитку такого функціоналу створює суттєві перешкоди для розробки проблемно-орієнтованих мов програмування.

Таблиця 1

Порівняння систем підтримки проектування мов програмування

	TEF	TCS	EMFText
Можливість створення проблемно-орієнтованих мов	+	+	+
Підтримка інтегрованих засобів розробки	+	+	+
Підтримка комбінування мов	+	-	-
Підтримка внесення змін в створену мову	+	-	+
Інтеграція з іншим засобами програмної інженерії	+	+	-
Наявність метрик для оцінювання вихідного результату	-	-	-

Підтримка інтегрованих засобів розробки. Кінцевим продуктом СППМП є мова програмування. Необхідним додатком для використання такого продукту є текстові редактори або інтегрованих засобів розробки. Відсутність плагінів для роботи із синтаксисом та іншими задачами що допомагають в розробці,

суттєво знижує популярність створеної мови та зменшує коло розробників які зможуть швидко розпочати роботу із мовою.

Підтримка комбінування мов. Парадигма мовно-орієнтованого програмування передбачає створення мов для виконання конкретних функцій. Кожна окрема мова має бути скомбінована з іншими в рамках одного програмного проекту що забезпечить ефективну роботу із різнорідними доменами. Така комбінація є одним із основних підходів лямбда числення що є основою функціонального програмування.

Підтримка внесення змін в створену мову. Кожен програмний продукт створюється із перспективою використання цього продукту різними розробниками для роботи в різних умовах. Врахування потреб різних груп користувачів на ранніх етапах розвитку продукту є неможливим. Для подолання цих ситуацій необхідною є постійна підтримка і внесення змін у початковий продукт. Таким чином продукт буде набирати більшу популярність через відповідність потребам своєї аудиторії.

Забезпечення базових можливостей проведення тестування мови. Попередньо описаний компонент додає системі як позитивних рис так і негативних. В процесі внесення змін частою є ситуація відмови роботи попередньо написаних частин мови через додавання нових можливостей. Для подолання цієї ситуації має бути передбачено в системі базове тестування наявного функціоналу. Без цього компоненту жоден реліз не зможе бути покращенням для попереднього.

Інтеграція з іншим засобами програмної інженерії. В процесі випуску релізів мови програмування може стати необхідною робота команди розробників над продуктом. Класичним засобом для розподіленої роботи є система контролю версій. Доступність такого компоненту дозволить масштабувати розробку і забезпечити доступ різних спеціалістів із мовної інженерії.

Наявність метрик для оцінювання вихідного результату. Метрики для оцінювання мов програмування не є поширеними в галузі розробки проблемно-орієнтованих мов. Розробка таких критеріїв додасть унікальну можливість для перевірки ефективності внесених змін та допоможе зрозуміти розробникам мов напрямки в яких вони зможуть покращувати свої продукти в рамках роботи із системою підтримки проектування мов програмування.

Висновки. У дослідженні наведено порівняння систем підтримки проектування мов програмування, що орієнтовані на роботу із проблемно-

56

орієнтованими мовами. Перевагами даних систем є орієнтація на роботу із конкретними областями для опису нотацій мов програмування Системи дозволяють створювати необхідні засоби для роботи із спроектованими мовами програмування та забезпечують базові покращення в процесі проектування. Недоліками даних систем є відсутність схожості в роботі систем та продуктах які отримує розробник на виході. Також важливим недоліком є відсутність жодних метрик оцінювання якості створених мов. Для покращення даних систем пропонується створити метрики оцінки проблемно-орієнтованих мов програмування та засоби підтримки розробки мови програмування за шаблоном розробки сучасних програмних продуктів. Дані покращення суттєво пришвидшать внесення змін у створені за допомогою цих систем мови програмування та зменшить поріг входу за рахунок наближення цих систем до інтегрованих засобів розробки програмного забезпечення.

ЛІТЕРАТУРА / LITERATURE

1. M. Fowler, Domain Specific Languages (1st. ed.). Addison-Wesley Professional, 2010, 552 p.
2. S. Dmitriev, Language oriented programming: The next programming paradigm. OnBoard, Online Magazine, 2005, 1-14.
3. M. P. Ward. Language-oriented programming. Software – Concepts and Tools, 1995, 15:147–161.
4. M. Mernik, J. Heering, A. M. Sloane. When and how to develop domain-specific languages. ACM Comput. Surv., 2005, 37(4):316–344.
5. L. C. L. Kats, E. Visser. The Spoofax language workbench: Rules for declarative specification of languages and IDEs. OOPSLA ACM, 2010, 444–463.
6. Z. Hemel, E. Visser. Declaratively programming the mobile web with Mobl. OOPSLA, ACM, 2011, 695–712.
7. J. van den Bos, T. van der Storm. Bringing domain-specific languages to digital forensics. ICSE SEIP, ACM, 2011, 671–680.
8. Scheidgen, Markus. Textual Modelling Embedded into Graphical Modelling. Model Driven Architecture - Foundations and Applications, 2008, 153-168.
9. Jouault F, Bézivin J, Kurtev I.. TCS: A DSL for the specification of textual concrete syntaxes in model engineering. Proceedings of the 5th International Conference on Generative Programming and Component Engineering, 2006. 249-254.
10. Heidenreich F., Johannes J., Karol S., Seifert M., Wende C. Model-Based Language Engineering with EMFText. Generative and Transformational Techniques in Software Engineering. Springer. 2011. 322-345.

REFERENCES

1. M. Fowler, Domain Specific Languages (1st. ed.). Addison-Wesley Professional, 2010, 552 p.
2. S. Dmitriev, Language oriented programming: The next programming paradigm. OnBoard, Online Magazine, 2005, 1-14.
3. M. P. Ward. Language-oriented programming. Software – Concepts and Tools, 1995, 15:147–161.
4. M. Mernik, J. Heering, A. M. Sloane. When and how to develop domain-specific languages. ACM Comput. Surv., 2005, 37(4):316–344.
5. L. C. L. Kats, E. Visser. The Spoofox language workbench: Rules for declarative specification of languages and IDEs. OOPSLA ACM, 2010, 444–463.
6. Z. Hemel, E. Visser. Declaratively programming the mobile web with Mobl. OOPSLA, ACM, 2011, 695–712.
7. J. van den Bos, T. van der Storm. Bringing domain-specific languages to digital forensics. ICSE SEIP, ACM, 2011, 671–680.
8. Scheidgen, Markus. Textual Modelling Embedded into Graphical Modelling. Model Driven Architecture - Foundations and Applications, 2008, 153-168.
9. Jouault F, Bézivin J, Kurtev I.. TCS: A DSL for the specification of textual concrete syntaxes in model engineering. Proceedings of the 5th International Conference on Generative Programming and Component Engineering, 2006. 249-254.
10. Heidenreich F., Johannes J., Karol S., Seifert M., Wende C. Model-Based Language Engineering with EMFText. Generative and Transformational Techniques in Software Engineering. Springer. 2011. 322-345.

Received 29.03.2021.

Accepted 30.03.2021.

Анализ современных программных решений для создания проблемно-ориентированных языков программирования

В статье приводится сравнительная характеристика некоторых средств для создания проблемно-ориентированных языков программирования. Определены основные критерии для сравнения и предложены критерии не реализованные в описанных средствах. В конце статьи приводятся выводы полученные в результате сравнения и предложения по улучшению существующих инструментов.

Analysis of modern software solutions for creating problem-oriented programming languages

Recent research and publications. Support systems for designing programming languages (SPPMP) as a means to create problem-oriented languages were popularized by Martin Fowler in 2010. Such tools provide efficient design, reuse, and support for languages and their integrated development tools. SPPMPs enable a wide range of engineers to develop new languages and, as a

result, create a new level of language engineering where sets of syntactically and semantically integrated languages can be developed with relatively little effort. This can lead to the emergence of programming environments with many paradigms and metalanguages focused on creating a language [2, 3], which can solve important problems of software engineering.

The aim of the study. Thus, there is a need to study the effectiveness of existing systems to support the design of programming languages to obtain quality criteria for the design process of problem-oriented programming languages. You also need to find out which design support systems best support the effective development of problem-oriented languages.

Main material of the study. To make a qualitative comparison of existing systems for supporting the design of programming languages, it is necessary to define criteria for comparison. We propose to compare these tools according to the requirements that classify the product as modern software. Our main parameters are: the ability to create problem-oriented languages, support for integrated development tools, support for language combination, support for making changes to the created language, providing basic language testing capabilities, integration with other software engineering tools. A separate point that is an indicator of the high level of development of design support systems is the availability of metrics for evaluating the initial result. This feature is absent for classical integrated development tools as their main focus is on software development without domain domain specification. This situation makes any comparison of the resulting products impossible because for a web application the server response in 3 seconds may be too high and for a web platform for processing large data it is the shortest server response time. The criteria described above will be used to evaluate the following SPPMP: tef tcs and emf.

Conclusions. The study compares the support systems for designing programming languages that are focused on working with problem-oriented languages. The advantages of these systems are the focus on working with specific areas to describe the notations of programming languages. The systems allow you to create the necessary tools to work with the designed programming languages and provide basic improvements in the design process. The disadvantages of these systems are the lack of similarity in the operation of systems and products that the developer receives at the exit. Another important drawback is the lack of any metrics for assessing the quality of created languages.

Баклан Ігор Всеволодович – к.т.н, доцент, доцент кафедри автоматизованих систем обробки інформації та управління Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського”.
Очеретяний Олександр Костянтинович – аспірант, асистент кафедри автоматизованих систем обробки інформації та управління Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського”.

Баклан Игорь Всеволодович – к.т.н, доцент, доцент кафедры автоматизированных систем обработки информации и управления Национального технического университета Украины “Киевский политехнический институт им. Игоря Сикорского”.

Очеретяний Александр Константинович – аспирант, ассистент кафедры автоматизированных систем обработки информации и управления Национального технического университета Украины “Киевский политехнический институт им. Игоря Сикорского”.

Baklan Ihor Vsevolodovych – Ph.D., Associate Professor, Associate Professor of Department of Computer-aided management and data processing systems of the National Technical University of Ukraine " Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”.

Ocheretianyi Oleksandr Kostyantynovych – p.h.d. student, lecturer assistant of Department of Computer-aided management and data processing systems of the National Technical University of Ukraine " Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”.

**ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ОЦІНКИ ПАРАМЕТРІВ
СПЛАЙН-РЕГРЕСІЇ ПРИ ОБРОБЦІ ДАНИХ ЗАБРУДНЕННЯ
АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ В ГІС «AIRNORM»**

Анотація. Задача моніторингу повітряного середовища промисловими підприємствами полягає в зборі, обробці параметрів забруднення атмосфери на локальній території та напрацюванні за результатами висновків стосовно прийняття рішень про екологічний стан як промайданчика, так і прилеглих житлових територій. Наведено удосконалений метод апроксимації даних за використанням кусково-поліноміальної регресії. Запропонований алгоритм надає можливість підвищити адекватність визначення границь при різкій зміні концентрації шкідливої речовини. Представлено результати проведення обчислювального експерименту проведеного за показниками рівня вмісту викиду речовини NH_3 для джерела V-109 на Державному науково-виробничому підприємстві (ДНВП) «Цирконій» м. Кам'янське.

Ключові слова: сплайн-регресія, моделі розсіювання речовини у повітрі, геоінформаційні системи.

Постановка проблеми. Техногенне навантаження на повітряне середовище – досить складний процес, який формує різноманіття факторів впливу. Забруднення атмосфери — зміна хімічного складу атмосфери в результаті потрапляння в неї домішок. Домішки в атмосфері — це розсіяна в атмосфері речовина, що не міститься в її постійному складі.

При обробці результатів спостереження за забрудненням повітря необхідна розробка моделі переносу шкідливих речовин та визначення в цих процесах метеорологічних та техногенних факторів. Оскільки положення джерел викидів, значення їх параметрів та метеорологічні параметри системи відомі, за допомогою математичних та фізичних моделей розраховується поля концентрацій шкідливих речовин в атмосферному повітрі для будь яких ситуацій.

Поряд з математичними моделями при оцінці рівня забруднення використовуються геоінформаційні системи (ГІС), як потужний інструмент, що забезпечу-

ють: збір, збереження, обробку, відображення даних, аналіз, оцінку, прогноз стану навколишнього середовища територіальної громади.

Одним з напрямів застосування ГІС є вирішення задачі моніторингу забруднення довкілля шкідливими викидами для певних локальних ділянок, що є територіями техногенно навантаженого регіону.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Актуальні проблеми моделювання забруднення повітря шкідливими речовинами наведено в роботах [2–4, 6, 8].

При обробці експериментальних даних виникає задача достовірного відображення фізико-хімічних процесів, що, як правило, є неоднорідними. Застосування сплайнів в задачах екстраполяції, інтерполяції та згладжування представлено в роботах [1, 5, 7].

Мета роботи. З врахуванням стану сучасних розробок, полягає в розробці інформаційної технології, алгоритмів та програмного забезпечення моделювання та візуалізації даних забруднення атмосферного повітря, для прийняття рішень про екологічне забруднення локальної ділянки.

Основний матеріал. Для моделювання забруднення атмосферного повітря викидами промислового підприємства локальної ділянки використано моделі, що базуються на процедурах методики ОНД-86.

Одним з недоліків методики ОНД-86 є її детермінований характер. Значення певних коефіцієнтів які використовуються методикою є строго затабульованими постійними величинами. Однак їх природної характер, який вони в собі несуть, є досить мінливим.

Задача інтерполювання сплайнами $S(x)$ початкового масиву $\{x_i, y_i, i = \overline{1, N}\}$ формулюється як задача знаходження серед усіх $S(x) \in W_2^m[a, b]$ такої $S(x_i) = y_i$. Знаходження згладжуючого сплайну виконується із умови

$$\min_{S \in W_2^m} \left\{ \sum_{i=1}^N (y_i - S(x_i, \vec{\theta}))^2 \right\} \quad (1)$$

Вважаючи, що мають місце нелінійні моделі регресії, що зводяться до лінійного типу, подальша задача полягає як до знаходження оцінок параметрів $\vec{\theta}$, так і у знаходженні вузлів точності наближення емпіричних даних лінійними сплайнами з реалізацією інтерполяційної процедури знаходження мінімуму залишкової дисперсії.

Обчислювальні схеми відтворення одновимірних сплайн-регресійних моделей нелінійного типу, які наведено нижче, базуються на перетворенні остан-

Лінійна сплайн-регресія визначена у наступному вигляді:

Якщо накласти умову, що $S(t) = z(i)$, то

Тим самим, задача відтворення лінійної сплайн-регресії зводиться до інтерполювання лінійними сплайнами.

Якщо $N > k$ та для $t^{(i-1)} \leq t_s \leq t^{(i)}$ значення t_{p_i} , t_{q_i} нижньою та верхньою межами статистичних даних відрізка $[t^{(i-1)}, t^{(i)}]$, то з умови

З урахуванням виразу (3) отримуємо систему лінійних рівнянь:

В матричному представленні система має вигляд

$$\begin{bmatrix} a_{00} & a_{01} & \dots & a_{0k} \\ a_{10} & a_{11} & \dots & a_{1k} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{i0} & a_{i1} & \dots & a_{ik} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{k0} & a_{k1} & \dots & a_{kk} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} z^{(0)} \\ z^{(1)} \\ \vdots \\ z^{(i)} \\ \vdots \\ z^{(k)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_0 \\ g_1 \\ \vdots \\ g_i \\ \vdots \\ g_k \end{bmatrix} \quad (7)$$

або

$$A \times Z = G, \quad (8)$$

де

$$\begin{aligned} a_{e,e} &= \sum_{s=p_e}^{q_e} \left(\frac{t_s - t^{(e-1)}}{h_e} \right)^2 + \sum_{s=p_{e+1}}^{q_{e+1}} \left(\frac{t^{(e)} - t_s}{h_{e+1}} + 1 \right)^2, \quad e = \overline{1, k-1} \\ a_{0,0} &= \sum_{s=p_1}^{q_1} \left(\frac{t^{(0)} - t_s}{h_1} + 1 \right)^2; \quad a_{k,k} = \sum_{s=p_k}^{q_k} \left(\frac{t_s - t^{(k-1)}}{h_k} \right)^2; \\ a_{e+1,e} &= \sum_{s=p_{e+1}}^{q_{e+1}} \left(\frac{t^{(e)} - t_s}{h_{e+1}} + 1 \right) \left(\frac{t_s - t^{(e)}}{h_{e+1}} \right), \quad e = \overline{0, k-1}; \\ a_{e-1,e} &= \sum_{s=p_e}^{q_e} \left(\frac{t_s - t^{(e-1)}}{h_e} \right) \left(\frac{t^{(e-1)} - t_s}{h_e} + 1 \right), \quad e = \overline{1, k}; \\ a_{r,e} &= 0, \quad \text{якщо } r \geq e + 2, \quad e \geq r + 2; \\ g_e &= \sum_{s=p_e}^{q_e} z_s \left(\frac{t_s - t^{(e-1)}}{h_e} \right) + \sum_{s=p_{e+1}}^{q_{e+1}} z_s \left(\frac{t^{(e)} - t_s}{h_{e+1}} + 1 \right), \quad e = \overline{1, k-1}; \\ g_0 &= \sum_{s=p_1}^{q_1} z_s \left(\frac{t^{(0)} - t_s}{h_1} + 1 \right); \quad g_k = \sum_{s=p_k}^{q_k} z_s \left(\frac{t_s - t^{(k-1)}}{h_k} \right); \quad h_e = t^{(e)} - t^{(e-1)}. \end{aligned}$$

Окремим випадком є $h_e = h = \text{const}$.

З урахуванням випадкових складових значення z_s на проміжку $[t^{(e-1)}, t^{(e)}]$ можна представити у вигляді

$$z_s = S(t_s) + \varepsilon_s = \frac{t_s - t^{(e-1)}}{h_e} z^{(e)} + \frac{t^{(e-1)} - t_s}{h_e} z^{(e-1)} + z^{(e-1)} + \varepsilon_s, \quad (9)$$

де $E\{\varepsilon_s\} = 0$, $D\{\varepsilon_s\} = \sigma^2$

З урахуванням виразу (9) умова (5) прийме наступний вигляд:

$$\min_{z^{(e)}} \sum_{i=1}^k \sum_{s=p_i}^{q_i} \left(z_s - \frac{t_s - t^{(e-1)}}{h_e} z^{(e)} - \frac{t^{(e-1)} - t_s}{h_e} z^{(e-1)} - z^{(e-1)} \right)^2 = S_{\text{звл}}^2 \quad (10)$$

Це еквівалентно розв'язку системи

$$A \times \hat{Z} = G, \quad (11)$$

де $\hat{Z}^T = (\hat{z}^{(0)}, \hat{z}^{(1)}, \dots, \hat{z}^{(k)})$.

Отримавши розв'язок системи (11), визначають вектор оцінок параметрів лінійної сплайн-регресійної залежності \vec{Z} та з урахуванням (3) – вектор B оцінок \vec{B} . Спираючись на отримані оцінки \vec{Z} , \vec{B} , проводять обчислення оцінок параметрів нелінійної сплайн-регресійної залежності з урахуванням формул перерахунку.

З системи (11) випливає, що

$$E\{z_s\} = \frac{t_s - t^{(e-1)}}{h_e} z^{(e)} + \left(\frac{t^{(e-1)} - t_s}{h_e} + 1 \right) z^{(e-1)} \quad (12)$$

та леми, що наведено нижче.

Лема 1

$$E\{g_r\} = \sum_{s=0}^k a_{rs} z^{(s)}.$$

Доведення.

Дійсно,

$$\begin{aligned} E\{g_0\} &= \sum_{s=p_1}^{q_1} \left(\frac{t^{(0)} - t_s}{h_1} + 1 \right) E\{z_s\} = \\ &= z^{(0)} \sum_{s=p_1}^{q_1} \left(\frac{t^{(0)} - t_s}{h_1} + 1 \right)^2 + z^{(1)} \left(\frac{t_s - t^{(0)}}{h_1} \right) \left(\frac{t^{(0)} - t_s}{h_1} + 1 \right) = \sum_{s=0}^k a_{0s} z^{(s)}; \\ E\{g_r\} &= \sum_{s=p_r}^{q_r} \frac{t_s - t^{(r-1)}}{h_r} E\{z_s\} + \sum_{s=p_{r+1}}^{q_{r+1}} \left(\frac{t^{(r)} - t_s}{h_{r+1}} + 1 \right) E\{z_s\} = \\ &= z^{(r)} \sum_{s=p_r}^{q_r} \left(\frac{t_s - t^{(r-1)}}{h_r} \right)^2 + z^{(r-1)} \sum_{s=p_r}^{q_r} \left(\frac{t_s - t^{(r-1)}}{h_r} \right) \left(\frac{t^{(r-1)} - t_s}{h_r} + 1 \right) + \\ &+ z^{(r+1)} \sum_{s=p_{r+1}}^{q_{r+1}} \left(\frac{t_s - t^{(r)}}{h_{r+1}} \right) \left(\frac{t^{(r)} - t_s}{h_{r+1}} + 1 \right) + z^{(r)} \sum_{s=p_{r+1}}^{q_{r+1}} \left(\frac{t^{(r)} - t_s}{h_{r+1}} + 1 \right)^2, \end{aligned}$$

або

$$\begin{aligned} E\{g_r\} &= z^{(r-1)} \sum_{s=p_r}^{q_r} \left(\frac{t_s - t^{(r-1)}}{h_r} \right) \left(\frac{t^{(r-1)} - t_s}{h_r} + 1 \right) + \\ &+ z^{(r)} \left\{ \sum_{s=p_r}^{q_r} \left(\frac{t_s - t^{(r-1)}}{h_r} \right)^2 + \sum_{s=p_{r+1}}^{q_{r+1}} \left(\frac{t^{(r)} - t_s}{h_{r+1}} + 1 \right)^2 \right\} + \\ &+ z^{(r+1)} \sum_{s=p_{r+1}}^{q_{r+1}} \left(\frac{t^{(r)} - t_s}{h_{r+1}} + 1 \right) \left(\frac{t_s - t^{(r-1)}}{h_{r+1}} \right) = \sum_{s=0}^k a_{rs} z^{(s)}, \quad 0 < r < k \\ E\{g_k\} &= \sum_{s=p_k}^{q_k} \left(\frac{t_s - t^{(k-1)}}{h_k} \right) E\{z_s\} = z^{(k-1)} \sum_{s=p_k}^{q_k} \left(\frac{t_s - t^{(k-1)}}{h_k} \right) \left(\frac{t^{(k-1)} - t_s}{h_k} + 1 \right) + \\ &+ z^{(k)} \sum_{s=p_k}^{q_k} \left(\frac{t_s - t^{(k-1)}}{h_k} \right)^2 = \sum_{s=0}^k a_{ks} z^{(s)}. \end{aligned} \quad (13)$$

Тим самим лему доведено.

$$\text{Отже, } E\{g_r\} = \sum_{s=0}^k a_{rs} z^{(s)}, \quad 0 \leq r \leq s. \quad (14)$$

З урахуванням виразів (13), (14), має місце система

$$T \times Z = E\{G\} \quad (15)$$

з якої випливає

$$Z = T^{-1} \times E\{G\}.$$

З іншого боку, з системи (11) з урахуванням $A=T$, отримують

$$\hat{Z} = T^{-1} \times G.$$

Тоді математичне сподівання вектору \hat{Z} має вигляд

$$E\{\hat{Z}\} = E\{T^{-1} \times G\} = T^{-1} \times E\{G\} = TT^{-1} \times Z = Z,$$

звідки випливає $E\{\hat{z}^{(r)}\} = z^{(r)}, \quad r = 0, 1, 2, \dots, k.$

Лема 2. Оцінкою ковариації вільних членів матриці G є

$$\text{cov}[g_r, g_e] = a_{re} \sigma^2.$$

Доведення.

Базуючись на визначенні ковариації, отримують

$$\begin{aligned} \text{cov}[g_r, g_e] &= E\{(g_r - E\{g_r\})(g_e - E\{g_e\})\} = E\left\{\sum_{s=p_r}^{q_r} z_s \frac{t_s - t^{(r-1)}}{h_r} + \right. \\ &+ \sum_{s=p_{r+1}}^{q_{r+1}} (z_s) \left(\frac{t^{(r)} - t_s}{h_{r+1}} + 1\right) - \sum_{s=p_r}^{q_r} (z_s - \varepsilon_s) \left(\frac{t_s - t^{(r-1)}}{h_r}\right) - \\ &- \sum_{s=p_{r+1}}^{q_{r+1}} (z_s - \varepsilon_s) \left(\frac{t^{(r)} - t_s}{h_{r+1}} + 1\right) \times E\left\{\sum_{s=p_e}^{q_e} z_s \frac{t_s - t^{(e-1)}}{h_e} + \right. \\ &+ \sum_{s=p_{e+1}}^{q_{e+1}} z_s \left(\frac{t^{(e)} - t_s}{h_{e+1}} + 1\right) - \sum_{s=p_e}^{q_e} (z_s - \varepsilon_s) \frac{t_s - t^{(e-1)}}{h_e} - \\ &- \sum_{s=p_{e+1}}^{q_{e+1}} (z_s - \varepsilon_s) \left(\frac{t^{(e)} - t_s}{h_{e+1}} + 1\right)\} \Bigg\} = E\left\{\left[\sum_{s=p_r}^{q_r} \varepsilon_s \frac{t_s - t^{(r-1)}}{h_r} + \sum_{s=p_{r+1}}^{q_{r+1}} \varepsilon_s \left(\frac{t^{(r)} - t_s}{h_{r+1}} + 1\right)\right] \times \right. \\ &\times \left[\sum_{s=p_e}^{q_e} \varepsilon_s \frac{t_s - t^{(e-1)}}{h_e} + \sum_{s=p_{e+1}}^{q_{e+1}} \varepsilon_s \left(\frac{t^{(e)} - t_s}{h_{e+1}} + 1\right)\right] \Bigg\} \end{aligned} \quad (16)$$

З виразу (16) випливають наступні випадки:

1) якщо $r \neq e, r \neq e + 1, r \neq e - 1$, то $\text{cov}[g_r, g_e] = a_{re} \sigma^2 = 0$;

2) якщо $r = e$, то

$$\text{cov}[g_e, g_e] = E\left\{\left[\sum_{s=p_e}^{q_e} \varepsilon_s \frac{t_s - t^{(e-1)}}{h_e}\right]^2 + \left[\sum_{s=p_{e+1}}^{q_{e+1}} \varepsilon_s \left(\frac{t^{(e)} - t_s}{h_{e+1}} + 1\right)\right]^2\right\} = a_{ee} \sigma^2;$$

3) якщо $r = e + 1$, то $\text{cov}[g_{e+1}, g_e] = a_{e+1,e} \sigma^2$;

4) якщо $r = e - 1$, то $\text{cov}[g_{e-1}, g_e] = a_{e-1,e} \sigma^2$.

Це доводить лему.

Теорема.

Якщо S_0^2 - мінімум суми відхилень оцінки лінійного сплайну відносно емпіричних даних, N - загальна кількість варіант, k - кількість вузлів, тоді незсунена оцінка дисперсії σ^2 має вигляд

$$D = E\{S_0^2\} / (N - k - 1).$$

Доведення.

Вважаємо, що значення S_0^2 визначається за виразом

$$\begin{aligned} S_0^2 &= \sum_{i=1}^k \sum_{s=p_i}^{q_i} \left[z_s - \frac{t_s - t^{(i-1)}}{h_i} \hat{z}^{(i)} - \frac{t^{(i-1)} - t_s}{h_i} \hat{z}^{(i-1)} - \hat{z}^{(i-1)} \right]^2 = \\ &= \sum_{i=1}^k \sum_{s=p_i}^{q_i} z_s^2 - 2 \sum_{r=0}^k g_r \hat{z}^{(r)} + \sum_{r=0}^k \sum_{s=0}^k a_{rs} z^{(r)} z^{(s)} = \\ &= \sum_{i=1}^k \sum_{s=p_i}^{q_i} z_s^2 - \sum_{r=0}^k g_r \hat{z}^{(r)} \end{aligned} \quad (17)$$

Подальше доведення зводиться до знаходження математичних сподівань елементів правої частини виразу. При цьому реалізується оцінка

$$\begin{aligned} \{\text{cov}[\hat{z}^{(r)}, \hat{z}^{(s)}]\} &= \{[(\hat{z}^{(r)} - z^{(r)})(\hat{z}^{(s)} - z^{(s)})]\} = [(\hat{Z} - Z)(\hat{Z} - Z)^T] = \\ &= E\{T^{-1}(g - E\{g\})(g - E\{g\})^T T^{-1}\} = T^{-1} E\{(g - E\{g\})(g - E\{g\})^T T^{-1}\} = \\ &= T^{-1} (T \sigma^2) T^{-1} = \{d_{r,s}\} \sigma^2, \end{aligned}$$

де $\{d_{r,s}\} = D = T^{-1}$.

З урахуванням лем 1 та 2 визначають шукані математичні сподівання:

$$\begin{aligned} E \left\{ \sum_{i=1}^k \sum_{s=p_i}^{q_i} z_s^2 \right\} &= \sum_{i=1}^k \sum_{s=p_i}^{q_i} [D\{z_s\} + (E\{z_s\})^2] = \sum_{i=1}^k \sum_{s=p_i}^{q_i} \left[\sigma^2 + \left(\frac{t_s - t^{(i-1)}}{h_i} z^{(i)} + \right. \right. \\ &+ \left. \left(\frac{t^{(i-1)} - t_s}{h_i} + 1 \right) z^{(i-1)} \right]^2 = N \sigma^2 + \sum_{i=1}^k \sum_{s=p_i}^{q_i} \left[z^{(i)2} \left(\frac{t_s - t^{(i-1)}}{h_i} \right)^2 + z^{(i-1)2} \times \right. \\ &\times \left. \left(\frac{t^{(i-1)} - t_s}{h_i} + 1 \right)^2 + 2 z^{(i)} z^{(i-1)} \left(\frac{t_s - t^{(i-1)}}{h_i} \right) \left(\frac{t^{(i-1)} - t_s}{h_i} + 1 \right) \right] = N \sigma^2 + \\ &+ z^{(0)2} \sum_{s=p_1}^{q_1} \left(\frac{t^{(1)} - t_s}{h_1} + 1 \right)^2 + z^{(0)} z^{(1)} \sum_{s=p_1}^{q_1} \left(\frac{t_s - t^{(0)}}{h_1} \right) \left(\frac{t^{(0)} - t_s}{h_1} + 1 \right) + \\ &+ z^{(0)} z^{(2)} \cdot 0 + \dots + z^{(0)} z^{(k)} \cdot 0 + z^{(1)} z^{(0)} \sum_{s=p_1}^{q_1} \left(\frac{t^{(0)} - t_s}{h_1} + 1 \right) \left(\frac{t_s - t^{(0)}}{h_1} \right) + z^{(1)2} \times \\ &\times \left[\sum_{s=p_1}^{q_1} \left(\frac{t_s - t^{(0)}}{h_1} \right)^2 + \sum_{s=p_2}^{q_2} \left(\frac{t^{(1)} - t_s}{h_2} + 1 \right)^2 \right] + z^{(1)} z^{(2)} \sum_{s=p_2}^{q_2} \left(\frac{t_s - t^{(1)}}{h_2} \right) \times \\ &\times \left(\frac{t^{(1)} - t_s}{h_2} + 1 \right) + z^{(1)} z^{(3)} \cdot 0 + \dots + z^{(1)} z^{(k)} \cdot 0 + \dots = N \sigma^2 + \\ &+ \sum_{r=0}^k \sum_{s=0}^k a_{rs} z^{(r)} z^{(s)}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E\left\{\sum_{r=0}^k g_r \hat{z}^{(r)}\right\} &= E\{\hat{Z}^T G\} = E\{\hat{Z}^T T \hat{Z}\} = E\left\{\sum_{r=0}^k \sum_{\vartheta=0}^k \hat{z}^{(r)} a_{r\vartheta} \hat{z}^{(\vartheta)}\right\} = \sum_{r=0}^k \sum_{\vartheta=0}^k a_{r\vartheta} E\{\hat{z}^{(r)} \hat{z}^{(\vartheta)}\} = \\
 &= \sum_{r=0}^k \sum_{\vartheta=0}^k a_{r\vartheta} [\hat{z}^{(r)} \hat{z}^{(\vartheta)} + \text{cov}[\hat{z}^{(r)} \hat{z}^{(\vartheta)}]] = \sum_{r=0}^k \sum_{\vartheta=0}^k a_{r\vartheta} z^{(r)} z^{(\vartheta)} + \sum_{r=0}^k \sum_{\vartheta=0}^k a_{r\vartheta} d_{r\vartheta} \sigma^2 = \\
 &= \sum_{r=0}^k \sum_{\vartheta=0}^k a_{r\vartheta} z^{(r)} z^{(\vartheta)} + (k+1)\sigma^2
 \end{aligned}$$

Отже, має місце результат

$$E\{S_0^2\} = E\left\{\sum_{i=1}^k \sum_{s=p_i}^{q_i} z_s^2\right\} - E\left\{\sum_{r=0}^k g_r \hat{z}^{(r)}\right\} = (N - k - 1)\sigma^2.$$

Тим самим теорему доведено.

Наслідок.

При заданому математичному сподіванні точність наближенні $E\{S_2^0\}$ та дисперсії похибки заміни σ^2 емпіричних даних лінійними сплайнами кількість вузлів визначається як

$$k = \frac{(N+1)\sigma^2 - E\{S_2^0\}}{\sigma^2}$$

або

$$k = (N + 1) - E\{S_2^0\} / \sigma^2$$

Більш складні обчислювальні схеми мають місце для поліноміальних сплайн-регресійних моделей степеню $n \geq 2$.

Проведемо сплайн-регресійний аналіз даних моделювання викиду для джерела V-109, розташованого на цій території промислового майданчика ДНВП «Цирконій» м. Дніпродзержинська за віссю факела викиду в ГІС «AirNorm». Розглянемо випадок використання сплайн-регресійної залежності типу «пряма-пряма» та «пряма-парабола». Вузол склеювання відомий.

Візуально бачимо, що дані розділились навпіл, тобто точка склеювання буде лежати десь ближче до середини. Тому обрано значення $x_0=1$ та побудуємо залежність вигляду «пряма-пряма» (рис. 1, 2).

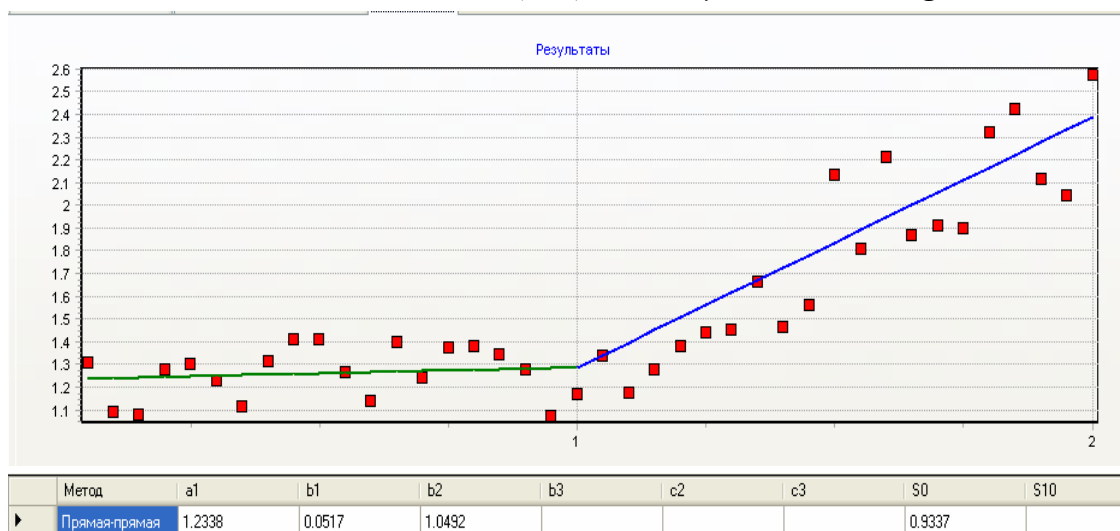


Рисунок 1 – Дані побудови сплайн-регресійної залежності «пряма-пряма» викиду NH_3 для джерела V-109

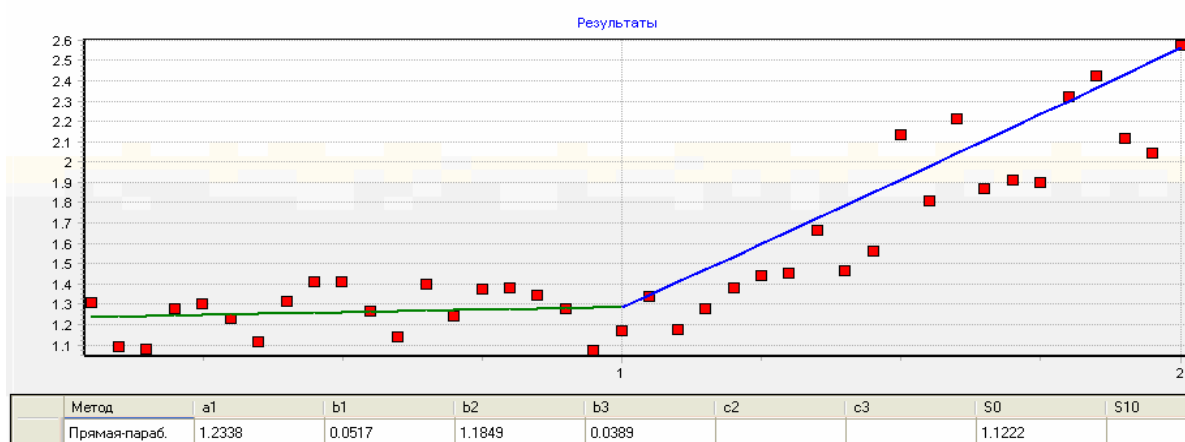


Рисунок 2 – Дані побудови сплайн-регресійної залежності «пряма-парабола» викиду NH_3 для джерела V-109

Для з'ясування точності візуального пошуку точки склеювання, побудуємо залежності «пряма-пряма» та «пряма-парабола», коли точка склеювання x_0 – невідома. Для типу «пряма-пряма» знайдено точку $x_0=1.1$, для типу «пряма-парабола» – $x_0=1.15$.

Оцінка результатів. Проведено порівняння результатів автоматичного пошуку точки склеювання та візуальних (рис.3).

Ґрунтуючись на значеннях залишкової дисперсії, можна зазначити, що результати автоматичного пошуку більш адекватні, причому в обох випадках.

Метод	a1	b1	b2	b3	c2	c3	S0	S10
▶ Прямая-прямая	1.2338	0.0517	1.0492				0.9337	
Прямая-параб.	1.2338	0.0517	1.1849	0.0389			1.1222	
Прямая-прямая	1.2403	0.0353	1.2421				0.8311	
Прямая-параб.	1.2405	0.0347	1.6125	-0.3992			0.8182	

Рисунок 3 – Дані порівняння результатів автоматичного та візуального пошуку точки склеювання

ЛІТЕРАТУРА / LITERATURE

1. Бабак В.П. Статистична обробка даних / В.П. Бабак, А.Я. Білецький, О.П. Приставка, П.О. Приставка – Київ: МІВВЦ, 2001. – 312 с.
2. Белов И.В. Сравнение моделей распространения загрязнений в атмосфере / И.В. Белов, М.С. Беспалов, Л.В. Ключкова, Н.К. Павлова, Д.В. Сузан, В.Ф. Тишкин – М: Математическое моделирование, 1999. – Т.11, №8. – С.52–64.
3. Беляев Н.Н. Защита атмосферы от загрязнения при миграции токсических веществ / Н.Н. Беляев, В.М. Лисняк – Д: РВВ ДНУ, 2006. – 105с.
4. Берлянд М. Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы / М.Е. Берлянд – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 273.
5. Полонська А.Є. Сплайн-регресія при обробці експериментальних даних / А.Є. Полонська, О.П. Приставка // Математичне моделювання. – Дніпродзержинськ, 2007. – Т. 2(17). – С. 46 – 49.
6. Митько Л.А. Компьютерное моделирование физико-химических процессов в приземном слое атмосферы – необходимый компонент информационного обеспечения в системе эколого-гигиенической безопасности [Электронный ресурс] / А.Л. Митько – Киев: Институт проблем моделирования в энергетике НАН Украины. – Режим доступа до ресурсу: <http://www.health.gov.ua/publ/conf.nsf/d2ffb20b75bd2a6cc2256d8f0029469d/08450493dfb77a1ac2256dc600401e3e?OpenDocument>
7. Приставка П.О. Поліноміальні сплайни при обробці даних: Монографія. / П.О. Приставка. – Д.: Вид-во Дніпропетр. ун-ту, 2004. – 236 с.
8. Сорока А.И. Стохастическая модель расчета рассеивания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе / А.И. Сорока, А.Н. Тетельбаум // Инженерная экология. – М.: "Инженерная экология", 2001. – №2. – С.51–56.

REFERENCES

1. Babak V.P. Statistical data processing / V.P. Babak, A.Y. Biletsky, O.P. Pristavka, P.O. Pristavka – Kyiv: MIVVC, 2001. – 312 p.

2. Belov I.V. Comparison of models of pollution distribution in the atmosphere / I.V. Belov, M.S. Bepalov, L.V. Klochkova, N.K. Pavlova, D.V. Susan, W.F. Tishkin – M: Mathematical modeling, 1999. – Vol.11, №8.–P.52–64.
3. Belyaev N.N. Protection of the atmosphere from pollution during the migration of toxic substances / NN Belyaev, B.M. Lisnyak – D: RVV DNU, 2006. – 105с.
4. Berland M.E. Forecast and regulation of atmospheric pollution / M.E. Berland – L.: Gidrometeoizdat, 1985. – 273 p.
5. Polonska A.Y. Spline regression in experimental data processing / A.Y. Polonska, O.P. Pristavka // Mathematical modeling. - Dniprodzerzhynsk, 2007. - Vol. 2 (17). - P. 46 - 49.
6. Mitko L.A. Computer modeling of physicochemical processes in the surface layer of the atmosphere - a necessary component of information support in the system of ecological and hygienic safety [Electronic resource] / L.A. Mitko – Kiev: Institute of Modeling Problems in Energy of the National Academy of Sciences of Ukraine. – Resource access mode:
<http://www.health.gov.ua/publ/conf.nsf/d2ffb20b75bd2a6cc2256d8f0029469d/08450493dfb77a1ac2256dc600401e3e?OpenDocument>
7. Pristavka P.O. Polynomial splines in data processing: Monograph. / P.O. Pristavka – D.: Dnipropetrovsk Publishing House. University, 2004. – 236 p.
8. Soroka A.I. Stochastic model of calculation of scattering of pollutants in atmospheric air / A.I. Soroka, A.N. Tetelbaum // Engineering ecology. - M.: "Engineering Ecology", 2001. - №2. - P.51–56.

Received 29.03.2021.

Accepted 31.03.2021.

***Информационная технология оценки параметров сплайн-регрессии
при обработке данных загрязнения атмосферного воздуха в ГИС «AIRNORM»***

Особенностью задач, связанных с процессом распространения вредных веществ в природной среде, является наличие большого количества параметров, которые влияют на процесс миграции примесей. Для описания таких процессов используются математические модели различной сложности. Задача мониторинга воздушной среды промышленными предприятиями заключается в сборе, обработке параметров загрязнения атмосферы на локальной территории и выработке по результатам выводов относительно принятия решений об экологическом состоянии как промплощадки, так и прилегающих жилых территорий. Приведен усовершенствованный метод аппроксимации данных при использовании кусочно-полиномиальной регрессии. Предложенный алгоритм позволяет повысить адекватность определения границ при резком изменении концентрации вредного вещества, позволяет повысить точность построенных моделей выброса вещества в атмосферный воздух и более точно оценить масштабы загрязнения. Разработанные методы, позволяющие провести визуализацию полученных данных для повышения информативности при оценке загрязнения определенной территории.

Наряду с математическими моделями при оценке уровня загрязнения используются геоинформационные системы (ГИС), как мощный инструмент, который обеспечивает: сбор, хранение, обработку, отображение данных, анализ, оценку, прогноз состояния окружающей среды территориальной общины. Описанные в статье методы и алгоритмы положены в основу информационной технологии и программного обеспечения решения научно-технической задачи визуально-аналитического анализа данных загрязнения атмосферного воздуха в ГИС «AirNorm». С помощью данной ГИС получены и представлены результаты проведения вычислительного эксперимента проведенного по показателям уровня содержания выброса вещества NH_3 для источника V-109 на Государственном научно-производственном предприятии (ГНПП) «Цирконий» м.Каменское.

***Information technology for evaluating spline regression parameters
when processing data on air pollution in the GIS «AIRNORM»***

A feature of the tasks associated with the spread of harmful substances in the natural environment is the presence of a large number of parameters that affect the migration of impurities. Mathematical models of varying complexity are used to describe such processes. The task of air monitoring by industrial enterprises is to collect, process the parameters of atmospheric pollution in the local area and develop, based on the results, conclusions regarding decision-making on the ecological state of both the industrial site and adjacent residential areas. An improved method of data approximation using piecewise polynomial regression is presented. The proposed algorithm makes it possible to increase the adequacy of determining the boundaries with a sharp change in the concentration of a harmful substance, improves the accuracy of the constructed models of the release of a substance into the atmospheric air and more accurately assess the scale of pollution. The developed methods allow visualization of the obtained data to increase the information content in assessing the pollution of a certain area.

Along with mathematical models, when assessing the level of pollution, geographic information systems (GIS) are used as a powerful tool that provides: collection, storage, processing, display of data, analysis, assessment, forecast of the state of the environment of a territorial community. The methods and algorithms described in the article form the basis of information technology and software for solving the scientific and technical problem of visual and analytical analysis of atmospheric air pollution data in the GIS «AirNorm». With the help of this GIS, the results of a computational experiment carried out on the indicators of the level of emission of NH_3 for the source V-109 at the State Research and Production Enterprise (GNPP) «Zirkoniy» m. Kamenskoye were obtained and presented.

Полонська Анна Євгенівна – асистент, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара.

Полонская Анна Евгеньевна – ассистент, Днепровский национальный университет имени Олеся Гончара.

Polonska Anna – assistant, Oles Honchar Dnipro National University.

Ю.В. Прокоп, О.Г. Трофименко, О.В. Задерейко

АНАЛІЗ ПІДХОДІВ У ВИКЛАДАННІ ПОЧАТКОВОГО КУРСУ ПРОГРАМУВАННЯ В УНІВЕРСИТЕТАХ

Анотація. Важливість результативного вивчення початкового курсу програмування (CS1), з одного боку, і потреба враховувати реалії вимог, що ставлять перед ІТ-фахівцями роботодавці сьогодні, з іншого боку, спонукають університети гнучко змінювати освітні компоненти, коригувати навчальні плани і вміст дисциплін. Актуальність пошуку підходів, які позитивно впливають на результативність навчання основам програмування, зумовлена складністю цього курсу для студентів і високим рівнем відсіву вже на першій сесії. В роботі проаналізовано підходи передових зарубіжних університетів у викладанні курсу з основ програмування CS1. Проведено співставлення з тенденціями сучасного ринку ІТ-праці на предмет потреб коригування вмісту початкового курсу програмування у закладах вищої освіти.

Ключові слова: початковий курс програмування, CS1, мова програмування, ІТ-освіта, алгоритмізація та програмування.

Постановка проблеми. Сьогодні для ІТ-освіти, і як наслідок для ІТ-галузі, характерні проблеми якості освіти і дефіцит спеціалістів водночас. Здобувачі ІТ-освіти мають багато вчитися і під час навчання, і під час професійної діяльності, щоб встигати за змінами в ІТ-індустрії загалом та новими трендами у вузькоспеціалізованих напрямках. Хоча популярність ІТ-освіти зростає, майбутнім студентам варто зважати на потребу певних зусиль і самостійного навчання щодо вдосконалення теоретичних і практичних навичок з розробки програмного забезпечення.

Нині в різних сферах програмної інженерії використовується цілий спектр різних мов програмування, які відрізняються функціоналом, швидкістю, продуктивністю, динамічною типізацією, простотою у навчанні і сприйнятті, наявністю спеціалізованих бібліотек, спрямованістю на оброблення певного роду даних (наприклад, Big Data, машинне навчання) та/або на кодування певного сегмента (наприклад, бекенд, вебфронтенд, мобільна розробка). При чому щорічно кількість робочих місць на ринку ІТ-праці неухильно зростає для

більшості мов. При підготовці ІТ-фахівців і програмістів зокрема важливим питанням є вибір першої мови програмування для вивчення. Адже від цього багато в чому залежить успішність подальшої ІТ-кар'єри. Від простоти сприйняття на початку навчання, розуміння базових програмних конструкцій залежить успішність засвоєння концепцій ООП і більш складних конструкцій програмування. З іншого боку, стрімкі реалії сьогодення спонукають шукачів роботи в ІТ не витрачати зайвого часу на вивчення сильних сторін різних мов програмування, а зосередитись на якійсь одній.

У закладах вищої освіти (ЗВО) нашої країни при підготовці здобувачів галузі 12 «Інформаційні технології», зокрема спеціальностей 121, 122, 126, на першому році навчання базовою дисципліною з вивчення основ програмування переважно є «Алгоритмізація та програмування» (АП). У більшості країн світу (країн ЄС, США, Австралії та ін.) в університетах цей курс називають CS1. Знання і навички, що здобувають студенти в процесі вивчення на цьому етапі, закладають базу для подальшого навчання програмуванню в ЗВО і майбутній професійній діяльності. Успішність вивчення АП впливає на засвоєння інших предметів курсу («Алгоритми та структури даних» (АСД), «Об'єктно-орієнтоване програмування» (ООП) та інших, що складають CS2), пов'язаних із програмуванням, і в значній мірі впливає на становлення програміста.

Важливість результативного вивчення початкового курсу програмування, з одного боку, і потреба враховувати реалії вимог, що ставлять перед ІТ-фахівцями роботодавці сьогодні, з іншого боку, спонукають ЗВО гнучко змінювати освітні компоненти, коригувати навчальні плани і вміст дисциплін. Серед питань, що викликають у цьому сенсі найбільшу дискусію між викладачами не лише України, а й усього світу, є вибір оптимальної мови програмування для початкового курсу вивчення програмування (CS1) та пошук способів підвищення успішності студентів такого курсу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дебати про підходи до викладання в університетах курсу CS1 не припиняються упродовж десятиліть. Дослідники відзначають складнощі у сприйнятті зазначеного предмета для студентів і високі показники незадовільних оцінок на іспитах [1]. Автори робіт [2–4] відзначають низькі показники успішності та високий рівень демотивації і навіть відсіву студентів на вступному курсі програмування. Дослідження [5], присвячене аналізу упродовж декількох років успішності з іспиту по курсу CS1, виявило, що третина здобувачів не в змозі його скласти. В роботі [1] відзначається, що викладачі заради зменшення незадовільних

результатів змушені спрощувати курс і знижувати вимоги до студентів. Такий підхід позитивно впливає на статистику невдач, проте завдає шкоди сильним студентам.

Серед негативних факторів з навчання основам програмування автори [1] називають відсутність у першокурсників навіть мінімальних знань і навичок програмування. Серед позитивних факторів в роботі [3] називають сильну мотивацію, особливо внутрішню, пов'язану з реальним інтересом до предмета, а також набір дидактичних процесів і методів, які допомагають засвоїти основні концепції програмування. Автори [6] вважають, що викладачі, які добре знаються на предметі викладання, з більшою ймовірністю будуть випускати успішних учнів.

Викладачі програмування в університетах по всьому світу продовжують шукати способи підвищення результативності курсу CS1, зокрема, змінюючи мову програмування і вводячи в навчальну програму нові класи задач [2, 7–10]. При цьому ефективність запропонованих рішень (зокрема, вибір мови) залежить від регіональної специфіки і традицій ІТ-освіти. Різні підходи і специфічні аспекти у пошуках рішення проблем, пов'язаних з викладанням курсу CS1, свідчать про актуальність цієї тематики і потребу подальшого дослідження.

Мета дослідження полягає в аналізі підходів закордонних університетів до викладання курсу з основ програмування, співставлення їх з тенденціями сучасного ринку ІТ-праці та дослідження потреб коригування вмісту дисципліни АП з урахуванням специфіки української вищої ІТ-освіти.

Викладення основного матеріалу дослідження. Існує ціла низка факторів, які впливають на процес навчання основам програмування та на ефективність його успішного засвоєння.

Цікавим і продуктивним підходом є залучення студентів, починаючи вже з першого курсу, до розробки реальних програмних проектів, які розробляються на кафедрах в проектних групах разом із фахівцями програмних компаній [11]. Це, з одного боку, наочно показує студентам практичні результати їх навчального процесу, а з іншого мотивує їх до вивчення програмування. Саме такий підхід успішно застосовується на кафедрах інформаційних технологій в ОНАЗ ім. О.С. Попова та НУ «ОЮА» з фахівцями компанії «KeepSolid». Також гарні результати показує підхід, коли в навчанні при розгляді прикладів програм проводяться паралелі щодо того, де реально на практиці можна застосувати такі програмні конструкції. Досягнення результатів вивчення тої чи іншої

теми потребує раціонального застосування способів дій, методів і засобів навчання. Пріоритетний вибір методики навчання та їх поєднання належить викладачеві. Тому багато в чому ефективність засвоєння матеріалу дисципліни залежить від майстерності, досвіду та професіоналізму викладача.

Для подолання складнощів у розумінні основних програмних конструкцій можна застосовувати ігровий підхід. Наприклад, такий підхід ефективно спрацьовує при закріпленні пройденого матеріалу. Для того, щоб зацікавити, варто створювати ігрові ситуації, інтерактивні вправи, активно використовувати мультимедійні засоби. Існують успішні методики [6, 12–14] навчання програмуванню, орієнтованого на розробку студентами ігор або розв'язанні задач, поданих в ігровій формі.

Існує підхід [1, 6, 12], спрямований на підвищення ефективності вивчення курсу CS1, який пропонує використовувати візуальну мову Scratch, принаймні в першій частині курсу з основ програмування. Графічна наочність Scratch полегшує сприйняття програмних конструкцій. Проте ця мова немає зв'язку з реальними мовами програмування, які далі вивчаються в інших дисциплінах і використовуються в професії, що викликає певні труднощі.

Дослідження [5, 15] показують, що вибір мови програмування майже не впливає на результативність і успішність здачі іспиту по CS1. Не зважаючи на те, чи викладається курс з основ програмування синтаксично простою мовою Python, чи то синтаксично складною мовою C++, результати успішності приблизно однакові. Тоді варто вибір початкової мови зосередити на тому, яка саме мова знадобиться надалі у професійній діяльності, що буде додатковим засобом мотивації до вивчення цього курсу. Так, студенти неохоче вчать мови програмування, які не використовуватимуть у своїй подальшій професії через непопулярність їх на ринку праці в конкретній країні.

Щодо реальних мов програмування, затребуваних на ринку IT-праці, найбільш популярними в Україні та світі є мови JavaScript, Java, Python, PHP, C# і C++. Для цього були порівняні рейтинги мов програмування відповідно до індексів PYPL, TIOBE, GitHub та StackOverflow [16]. Відповідно до рейтингу мов програмування DOU 2021 року [17] до десятки найбільш використовуваних у професії нині в Україні потрапили: JavaScript (18%), Java (15%), C# (14%), Python (12%), PHP (10%), TypeScript (7%), C++ (4.6%), Swift (3.1%), Ruby (3%), Kotlin (2.6%).

Суттєво, що кожна з мов програмування має своє специфічне призначення і свою сферу розробки програмного забезпечення. Так, головними мовами

бекенду є Java, C# та PHP. Частково у бекенді застосовують JavaScript, TypeScript, Ruby, Go, Scala та C++. Фактично весь фронтенд пишуть мовами JavaScript і TypeScript. У мобільній розробці основними мовами є Kotlin і Swift, а також зберігає популярність відносно стара мова програмування Java. Для оброблення масивів даних (Big Data та машинне навчання) беззаперечним лідером є Python.

Затребуваність мови на ринку IT-праці є одним із головних факторів для вибору першої мови розробки, оскільки суттєво впливає на мотивацію студентів. Проте від вибору першої мови залежить і культура програмування. Питання вибору першої мови програмування багато років викликає палкі дискусії. Згідно з дослідженнями [7–9] більшість університетів у курсі CS1 використовують одну з мов: Java (40%), Python (30%), C++ (17%), C (8%), причому популярність мови Python зростає за рахунок зниження популярності Java. Решта мов (C#, Matlab і Ruby) значно менш популярні.

У США 42% університетів в курсі CS1 використовують мову Java, мову Python – 26%, C/C++ – 24%, C# – лише 0.65%, ще приблизно 7% складають інші мови [2]. В Австралії найпоширенішими є Java і Python (по 31.25% кожна), C (16.7%), C# (10.4%), Visual Basic (4%), решта – інші мови. В країнах Європи найбільш використовуваною мовою є C (від 30.6% до 45.7% в різних європейських країнах), за нею йде C++ (15–23%), Java (8.3–20.7%), Pascal (7.7%) і Python (5.6%) [10, 18]. Тобто у виборі мови виявляється виражена регіональна специфіка.

Останнім часом великої популярності завдяки простоті синтаксису набула мова Python, проте чи варто починати вивчення програмування саме з цієї мови? Порівняння результатів [14, 15, 19] застосування мов Python та C++ виявило, що студенти, які у вступному курсі програмування вивчали Python, мали більш високі показники складнощів, ніж студенти, які вибрали C++. Перевагу C++ у виборі між мовами Python та C++ для курсу CS1 обґрунтовано у дослідженнях [14, 20–22].

Серед найбільш актуальних аргументів щодо вибору мови програмування для курсу CS1 є: простота синтаксису, популярність на ринку праці, наявність всіх базових конструкцій, підтримка мови різними середовищами програмування, в тому числі наявність онлайн-компіляторів, простота встановлення IDE, педагогічні переваги, наявність онлайн-спільноти для допомоги, максимальна сумісність з іншими мовами програмування.

Важливим питанням є легкість переходу від одного курсу до іншого, тобто

від CS1 до CS2. Дослідження [19, 23] виявили, що у більшості студентів, які вивчали Python або Java у курсі CS1, виникли суттєві складнощі у розумінні динамічних структур даних. Автори [22] пропонують у вступному курсі програмування використовувати C++, а далі в ООП – мову з тієї ж групи (C++, C#, Java), вважаючи, що приналежність мов до одного сімейства сприяє засвоєнню матеріалу.

Грунтуючись на рейтингу затребуваних в Україні мов програмування, аналізі досвіду зарубіжних університетів, необхідності встановлення взаємозв'язку між дисциплінами і специфіці курсів, доречною схемою використання мов програмування є: C/C++ в курсі АП і Java/C# в курсі ООП.

Вибір мови програмування для вивчення у ЗВО може бути зроблений на базі наявності або можливості швидкої підготовки навчально-методичної бази і наявності викладачів, які добре володіють цією мовою. Крім того, аргументом для вибору може бути опитування, проведене серед студентів перед початком курсу.

Простота навчання, потенційна зарплата, довголіття і попит – все це фактори, які майбутні розробники враховують, шукаючи першу для вивчення мову програмування. Аудиторія бажаючих навчитись програмувати зростає, незважаючи на вік. За умов глобальної пандемії COVID, коли багато людей залишилися без роботи, вони прагнуть підготуватися до нової або більш вигідної роботи в галузі розробки програмного забезпечення.

Висновки. Універсального рішення проблем, пов'язаних з викладанням початкового курсу програмування в ЗВО не існує. Викладачі програмування в університетах по всьому світу продовжують шукати способи підвищення результативності цього курсу, зокрема, змінюючи мову програмування і вводячи в навчальну програму нові класи задач. При цьому ефективність запропонованих рішень (зокрема, вибір мови) залежить від регіональної специфіки і традицій ІТ-освіти. Застосування різноманітних освітніх технологій: практико-орієнтованої, групової, проблемної, ігрової, тренінгової дозволяє раціональним шляхом досягти поставленої мети.

ЛІТЕРАТУРА / LITERATURE

1. Undergraduate Programming Courses, Students' Perception and Success / Krpan D., Mladenovic S., Rosić M. // Procedia - Social and Behavioral Sciences. – 2018. – Vol. 174. – P. 3868–3872. DOI: 10.1016/j.sbspro.2015.01.1126.
2. Sobral S. 30 years of CS1: Programming Languages Evolution / S. Sobral // ICERI-2019 Proceedings. – 2019. – P. 9197–9205. DOI: 10.21125/iceri.2019.2214.

3. Andrzejewska M. Przyczyny niepowodzeń edukacyjnych studentów informatyki na wstępnych kursach programowania / M Andrzejewska. // Edukacja, Technika, Informatyka. – 2018. – Vol. 4. – P. 211–217. DOI: 10.15584/eti.2018.4.29
4. EasyCoding - Methodology to Support Programming Learning. / Almeida M., Alves L., Pereira M., Barbosa G. // First International Computer Programming Education Conference ICPEC-2020. DOI: 10.4230/OASICS.ICPEC.2020.1
5. Watson C. Failure rates in introductory programming revisited. / Watson C., Li F. // ITiCSE '14: Proceedings of the 2014 conference on Innovation & technology in computer science education. – New York, NY, USA, 2014. P. 39–44. DOI: 10.1145/2591708.2591749.
6. Using Games to Help Novices Embrace Programming: From Elementary to Higher Education / Mladenovic S., Krpan D., Mladenović M. // International Journal of Engineering Education. – 2016. – Vol. 32. – P. 521–531.
7. CS2 and the Impact of Programming Language Choice / Siegfried R., Herbert-Berger K., Siegfried J. // 51st ACM Technical Symposium on Computer Science Education (SIGCSE '20). – 2020. – P. 1353. DOI: 10.1145/3328778.3372644.
8. A Longitudinal Analysis of the Reid List of First Programming Languages / Siegfried R., Siegfried J., Alexandro G. // Information Systems Education Journal. – 2016. – Vol. 14(6). – P. 47–54.
9. Recent Studies About Teaching Algorithms (CS1) and Data Structures (CS2) for Computer Science Students / Silva D., Aguiar R., Dvconlo D., Silla C. // IEEE Frontiers in Education Conference (FIE). – 2019. – P. 1–8. DOI: 10.1109/FIE43999.2019.9028702.
10. Aleksić V. Introductory Programming Subject in European Higher Education / V. Aleksić, M. Ivanović // Informatics in Education. – 2016. – Vol. 15, No. 2. – P. 163–182. DOI: 10.15388/infedu.2016.09.
11. Using real projects as motivators in programming education / Konecki M., Lovrenčić S., Kaniški M. // 39th International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO). – Opatija, Croatia, 2016. – P. 883–886. DOI: 10.1109/MIPRO.2016.7522264.
12. Mediated transfer from visual to high-level programming language / Krpan D., Mladenović S., Zaharija G. // 40th International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO). – Opatija, 2017. – P. 800–805. DOI: 10.23919/MIPRO.2017.7973531.
13. Seng W. Y. Computer Game as Learning and Teaching Tool for Object Oriented Programming in Higher Education Institution / Wong Yoke Seng, Maizatul Hayati Mohamad Yatim // Procedia - Social and Behavioral Sciences. – 2014. – Vol. 123. – P.

215–224. DOI: 10.1016/j.sbspro.2014.01.1417.

14. Madeja M. Innovative Approaches in C Introductory Programming Courses / M. Madeja, J. Porubän // ICT in Education, Research, and Industrial Applications, 2019.

15. Python Versus C++: An Analysis of Student Struggle on Small Coding Exercises in Introductory Programming Courses / Alzahrani N., Vahid F., Edgcomb A., Nguyen K., Lysecky R. // 49th ACM Technical Symposium on Computer Science Education (SIGCSE '18). – 2018. – P. 86–91. DOI: 10.1145/3159450.3160586.

16. Prokop Y.V. A study of software development tools that are required in the job market in Ukraine and the world. / Prokop Y.V., Trofymenko O.G., Kapustin M.M. // Proceedings of the O.S. Popov ONAT. – 2018. – Vol. 2. – P. 101-108. DOI: 10.33243/2518-7139-2018-1-2-101-108.

17. Рейтинг мов програмування 2021. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://dou.ua/lenta/articles/language-rating-jan-2021/>

18. An Analysis of Introductory Programming Courses at UK Universities / Murphy E., Crick T., Davenport J. // The Art, Science, and Engineering of Programming. – 2017. – Vol. 1(2). Issue 2. – DOI: 10.22152/programming-journal.org/2017/1/18.

19. Toward Predicting Success and Failure in CS2: A Mixed-Method Analysis / Layman L., Song Y., Guinn C. // ACM Southeast Conference (ACM SE '20). – New York, NY, USA, 2020. – P. 218–225. DOI: 10.1145/3374135.3385277.

20. Analysis of Student Misconceptions using Python as an Introductory Programming Language / Johnson F., McQuistin S., O'Donnell J. // 4th Conference on Computing Education Practice (CEP 2020). – New York, NY, USA, 2020. – Article 4. – P. 1–4. DOI: 10.1145/3372356.3372360.

21. Multivariate analysis when choosing the first programming language studied in universities / Prokop Yu., Trofimenko E., Zadereyko O., Loginova N., Gerganov M. // Advancing Society Through Applied Physics, Electrical and Computer Engineering. 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (IEEE UKRCON-2019). – P. 1224-1228.

22. Damyanov I. Programming languages in undergraduate courses and in software industry in Bulgaria / Damyanov I., Borisova N. // International Journal of Pure and Applied Mathematics. – 2017. – Vol. 117, No. 2. – P. 271–278. DOI: 10.12732/ijpam.v117i2.3.

23. A snapshot of current practices in teaching the introductory programming sequence / Davies S., Polack-Wahl J., Anewalt K. // 42nd ACM technical symposium on Computer science education (SIGCSE '11). – New York, NY, USA, 2011. – P. 625–630. DOI: 10.1145/1953163.1953339.

REFERENCES

1. Undergraduate Programming Courses, Students' Perception and Success / Krpan D., Mladenovic S., Rosić M. // *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. – 2018. – Vol. 174. – P. 3868–3872. DOI: 10.1016/j.sbspro.2015.01.1126.
2. Sobral S. 30 years of CS1: Programming Languages Evolution / S. Sobral // *ICERI-2019 Proceedings*. – 2019. – P. 9197–9205. DOI: 10.21125/iceri.2019.2214.
3. Andrzejewska M. Przyczyny niepowodzeń edukacyjnych studentów informatyki na wstępnych kursach programowania / M Andrzejewska. // *Edukacja, Technika, Informatyka*. – 2018. – Vol. 4. – P. 211–217. DOI: 10.15584/eti.2018.4.29
4. EasyCoding - Methodology to Support Programming Learning. / Almeida M., Alves L., Pereira M., Barbosa G. // *First International Computer Programming Education Conference ICPEC-2020*. DOI: 10.4230/OASlcs.ICPEC.2020.1
5. Watson C. Failure rates in introductory programming revisited. / Watson C., Li F. // *ITiCSE '14: Proceedings of the 2014 conference on Innovation & technology in computer science education*. – New York, NY, USA, 2014. P. 39–44. DOI: 10.1145/2591708.2591749.
6. Using Games to Help Novices Embrace Programming: From Elementary to Higher Education / Mladenovic S., Krpan D., Mladenović M. // *International Journal of Engineering Education*. – 2016. – Vol. 32. – P. 521–531.
7. CS2 and the Impact of Programming Language Choice / Siegfried R., Herbert-Berger K., Siegfried J. // *51st ACM Technical Symposium on Computer Science Education (SIGCSE '20)*. – New York, NY, USA, 2020. – P. 1353. DOI: 10.1145/3328778.3372644.
8. A Longitudinal Analysis of the Reid List of First Programming Languages / Siegfried R., Siegfried J., Alexandro G. // *Information Systems Education Journal*. – 2016. – Vol. 14(6). – P. 47–54.
9. Recent Studies About Teaching Algorithms (CS1) and Data Structures (CS2) for Computer Science Students / Silva D., Aguiar R., Dvconlo D., Silla C. // *IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)*. – Covington, KY, USA, 2019. – P. 1–8. DOI: 10.1109/FIE43999.2019.9028702.
10. Aleksić V. Introductory Programming Subject in European Higher Education / V. Aleksić, M. Ivanović // *Informatics in Education*. – 2016. – Vol. 15, No. 2. – P. 163–182. DOI: 10.15388/infedu.2016.09.
11. Using real projects as motivators in programming education / Konecki M., Lovrenčić S., Kaniški M. // *39th International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO)*. – Opatija, Croatia.

tia, 2016. – P. 883–886. DOI: 10.1109/MIPRO.2016.7522264.

12. Mediated transfer from visual to high-level programming language / Krpan D., Mladenović S., Zaharija G. // 40th International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO). – Opatija, 2017. – P. 800–805. DOI: 10.23919/MIPRO.2017.7973531.

13. Seng W. Y. Computer Game as Learning and Teaching Tool for Object Oriented Programming in Higher Education Institution / Wong Yoke Seng, Maizatul Hayati Mohamad Yatim // Procedia - Social and Behavioral Sciences. – 2014. – Vol. 123. – P. 215–224. DOI: 10.1016/j.sbspro.2014.01.1417.

14. Madeja M. Innovative Approaches in C Introductory Programming Courses / M. Madeja, J. Porubän // ICT in Education, Research, and Industrial Applications, 2019.

15. Python Versus C++: An Analysis of Student Struggle on Small Coding Exercises in Introductory Programming Courses / Alzahrani N., Vahid F., Edgcomb A., Nguyen K., Lysecky R. // 49th ACM Technical Symposium on Computer Science Education (SIGCSE '18). – USA, 2018. – P. 86–91. DOI: 10.1145/3159450.3160586.

16. Prokop Y.V. A study of software development tools that are required in the job market in Ukraine and the world. / Prokop Y.V., Trofymenko O.G., Kapustin M.M. // Proceedings of the O.S. Popov ONAT. – 2018. – Vol. 2. – P. 101-108. DOI: 10.33243/2518-7139-2018-1-2-101-108.

17. Rating of programming languages 2021. URL:
<https://dou.ua/lenta/articles/language-rating-jan-2021/>

18. An Analysis of Introductory Programming Courses at UK Universities / Murphy E., Crick T., Davenport J. // The Art, Science, and Engineering of Programming. – 2017. – Vol. 1(2). – DOI: 10.22152/programming-journal.org/2017/1/18.

19. Toward Predicting Success and Failure in CS2: A Mixed-Method Analysis / Layman L., Song Y., Guinn C. // ACM Southeast Conference (ACM SE '20). – New York, NY, USA, 2020. – P. 218–225. DOI: 10.1145/3374135.3385277.

20. Analysis of Student Misconceptions using Python as an Introductory Programming Language / Johnson F., McQuistin S., O'Donnell J. // 4th Conference on Computing Education Practice (CEP 2020). – New York, NY, USA, 2020. – Article 4. – P. 1–4. DOI: 10.1145/3372356.3372360.

21. Multivariate analysis when choosing the first programming language studied in universities / Prokop Yu., Trofimenko E., Zadereyko O., Loginova N., Gerganov M. // Advancing Society Through Applied Physics, Electrical and Computer Engineering. 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (IEEE UKRCON-2019). – P. 1224-1228.

22. Damyanov I. Programming languages in undergraduate courses and in software industry in Bulgaria / Damyanov I., Borisova N. // International Journal of Pure and Applied Mathematics. – 2017. – Vol. 117. – P. 271–278. DOI: 10.12732/ijpam.v117i2.3.

23. A snapshot of current practices in teaching the introductory programming sequence / Davies S., Polack-Wahl J., Anewalt K. // 42nd ACM technical symposium on Computer science education (SIGCSE '11). – New York, NY, USA, 2011. – P. 625–630. DOI: 10.1145/1953163.1953339.

Received 01.04.2021.

Accepted 05.04.2021.

**Анализ подходов к преподаванию начального
курса программирования в университетах**

Важность результативного изучения начального курса программирования (CS1), с одной стороны, и потребность учитывать реалии требований, которые ставят перед ИТ-специалистами работодатели сегодня, с другой стороны, побуждают университеты гибко менять образовательные компоненты, корректировать учебные планы и содержание дисциплин. Актуальность поиска подходов, положительно влияющих на результативность обучения основам программирования, обусловлена сложностью этого курса для студентов и высоким уровнем отсева уже на первой сессии. В работе проанализированы подходы передовых зарубежных университетов к преподаванию курса по основам программирования CS1. Проведено сопоставление с тенденциями современного рынка ИТ-труда на предмет потребностей корректировки содержания начального курса программирования в учреждениях высшего образования.

**Analysis of approaches in teaching the introductory
programming course in universities**

The importance of the effective study of the initial programming course (CS1), on the one hand, and the need to take into account the requirements for IT professionals today, on the other hand, encourage universities to flexibly change educational components, adjust curricula and disciplines. The relevance of finding approaches that positively affect the effectiveness of learning the basics of programming, due to the complexity of this course for students and the high level of dropout in the first session.

The paper analyzes the approaches of foreign universities in teaching the CS1 course. The tendencies of the Ukrainian IT labour market concerning the need for adjustment of the content of the Algorithmization and programming course (Ukrainian analogue CS1) are investigated.

It is established that there is no universal solution to the problems associated with teaching the initial programming course in the universities. Important factors that positively affect the success of programming training are the motivation of students, a set of didactic processes and methods, as well as good knowledge of the subject by teachers. To increase the effectiveness of training, researchers propose to change the programming language used in the introductory programming course and to introduce new classes of tasks in the curriculum. The effectiveness of the solutions

depends on the regional specifics and traditions of IT education.

Considering the ranking of programming languages in demand in Ukraine, the need to establish a relationship between disciplines and specifics of courses, the appropriate scheme of using programming languages are C / C ++ in Algorithmization and programming course (CS1) and then Java / C # in Object-oriented programming course (CS2). Another solution is to collaborate with IT companies and to involve students in writing real programs.

Прокоп Юлія Віталіївна - кандидат історичних наук, старший викладач кафедри інформаційних технологій Одеської національної академії зв'язку ім. О.С. Попова.

Трофименко Олена Григорівна - кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інформаційних технологій Національного університету «Одеська юридична академія».

Задерейко Олександр Владиславович - кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інформаційних технологій Національного університету «Одеська юридична академія».

Прокоп Юлия Витальевна - кандидат исторических наук, старший преподаватель кафедры информационных технологий Одесской национальной академии связи им. А.С. Попова.

Трофименко Елена Григорьевна - кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры информационных технологий Национального университета «Одесская юридическая академия».

Задерейко Александр Владиславович - кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры информационных технологий Национального университета «Одесская юридическая академия».

Prokop Yuliya - Candidate of Historical Sciences, Senior lecturer at the Department of Information Technology of the O.S. Popov Odessa National Academy of Telecommunications.

Trofymenko Olena - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Information Technologies of the National University "Odessa Law Academy".

Zadereyko Olexander - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Information Technologies of the National University "Odessa Law Academy".

М.О. Федотова, І.О. Скриннік С.І. Осадчий, Д.В. Трушаков

**ІДЕНТИФІКАЦІЯ СИГНАЛІВ ЯК ОДИН З ЕТАПІВ СИНТЕЗУ СИСТЕМИ
АВТОМАТИЧНОЇ СТАБІЛІЗАЦІЇ
ВИСОТИ КИПЛЯЧОГО ШАРУ В ЗЕРНОСУШАРЦІ**

Анотація. В роботі подано в широкому розумінні проблематику синтезу системи автоматичної стабілізації висоти киплячого шару, розкрито її значущість для покращення ефективності сушіння та показано застосування технології ідентифікації сигналів зерносушарки з урахування її особливостей, а саме багатовимірності та розподіленості.

Ключові слова: Киплячий шар, зерносушарка, каскади, теплоносій, спектральна щільність вхідного і вихідного сигналу, випереджував Сміта, система стабілізації.

Постановка проблеми. Киплячий шар використовується у багатьох галузях виробництва, зокрема в АПК для сушіння зернових. В установках, в основі яких покладено принцип «киплячості», процес сушіння відбувається у багато разів швидше, ніж у звичайних зерносушарках. Це пояснюється тим, що у зваженому стані дисперсний матеріал омивається теплоносієм зі всіх сторін, що в значній мірі прискорює процес віддачі вологи у вигляді пари, тобто збільшується швидкість сушіння при мінімальній експозиції.

Якісно управляти швидкоплинними процесами можливо тільки при наявності автоматичних систем, розробка яких для такого роду об'єктів представляє деякі труднощі, і ось чому.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. При Центрально-українському національному технічному університеті на кафедрі сільськогосподарського машино-будування була розроблена конструкція зерносушарки з киплячим шаром (рис 1). Її особливістю є те, що в камері сушіння під кутом до вісі знаходяться 7 рівновіддалених на величину Δ каскадів-решет, якими рухається зерно, нагадуючи собою в'язку «киплячу» речовину. Під нижній каскад подається агент сушіння з певною температурою. Частина вже зволоженого теплоносія виводиться через осадову камеру, а решта – через бункер завантаження. Наявність рівновіддалених каскадів викликає потребу розглядати суша-

рку як об'єкт автоматизації не лише із запізненнями за рахунок транспортування, а й як об'єкт з розподіленими параметрами.

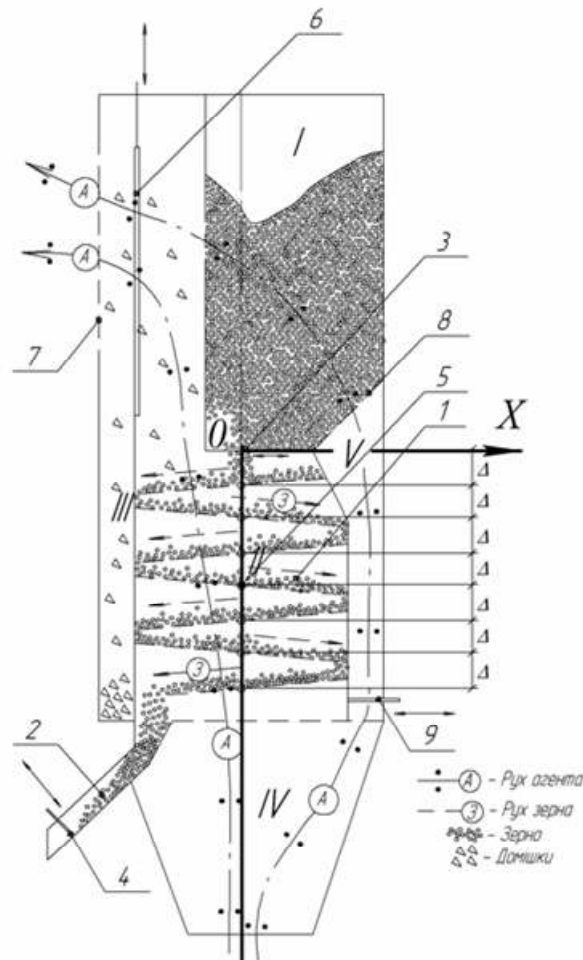


Рисунок 1 - ЗКШ з системою координат

Однією з головних причин зменшення ефективності сушіння насіння у таких зерносушарках є наявність суттєвих коливань висоти киплячого шару h та, як наслідок, флуктуацій кількості насіння у зоні сушіння.

Для зменшення впливу цієї причини на ефективність сушіння пропонується мінімізувати дисперсію відхилень висоти киплячого шару насіння від заданого значення у результаті постановки та розв'язання задачі синтезу оптимальної системи стабілізації такої висоти.

Значний вклад у розвиток автоматизації сушіння в киплячому шарі зробили такі визначні науковці як Баскаков А.С., Рашковська Н.Б., Романков П.Г., Забродський С.С., Мартиненко І.І., Федоров В.Г. та ін.. Їх розробки в якійсь степені мають свої переваги та недоліки, але конкретно для зерносушарки, зобра-

женої на рис. 1, необхідно розробити власну систему стабілізації висоти киплячого шару з урахування її особливостей.

Мета дослідження: необхідно дослідити об'єкт з точки зору фізики процесу, проаналізувати зв'язки між сигналами «вхід-вихід» їх вплив між собою та визначити за відомою методикою опис експериментально знятих кривих сигналів у вигляді спектральних та взаємно спектральних щільностей.

Основний текст статті: Недоліки системи автоматичної стабілізації висоти киплячого шару пов'язані зі складністю зерносушарки як багатовимірного об'єкта керування з розподіленими параметрами та чистим запізненням, який функціонує в умовах неідеального виміру регульованих величин та дії багатовимірних випадкових збурень.

Якщо виконати декомпозицію зерносушарки, то можна представити її у вигляді множини багатовимірних об'єктів з чистим запізненням. Розмір цієї множини визначається кількістю каскадів, а динамічні характеристики її елементів залежать від відстані каскаду до шибера Δ . Тобто 7. Тоді зерносушарка з киплячим шаром (рис 1) при аналізі його вхідних і вихідних сигналів представляється узагальненою структурою так, як показано це на рисунку 2.

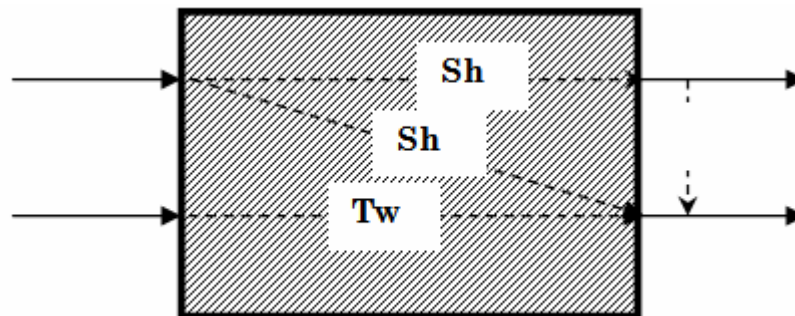


Рисунок 2 – Схема зв'язків вхідних і вихідних сигналів ЗОШ як об'єкта автоматизації

Тоді основними параметрами зерносушарки є: sh - зміна положення шибера, що регулює подачу зерна безпосередньо в камеру сушіння, V - висота шару матеріалу на каскадах, ω - кінцева вологість зернового матеріалу, T - температура теплоносія (агента).

В результаті визначення ступеню зв'язку між сигналами виявилось, що значна кореляція спостерігається між параметрами: $sh - V$, $sh - \omega$, $T - \omega$, $V - \omega$. Суть таких зв'язків очевидна і виходить з фізики процесу, адже зміна положення шибера sh , що регулює подачу зерна безпосередньо в камеру сушіння, впливає, перш за все, на висоту шару V матеріалу на каскадах, а, значить, і на кінце-

ву вологість зерна ω . Щодо температури агента T , то вплив її спостерігається лише на зміну кінцевої вологості і, аж ніяк, не на зміну висоти матеріалу на каскадах [2].

Для того, щоб описати сигнали «вхід-вихід» у вигляді спектральних щільностей, скористаємось алгоритмом Блекмена-Т'юки і сформуємо технологію визначення таких спектральних щільностей у розрізі кожного об'єкта [3]

1. Пронумеруємо каскади ЗКШ (рис 1.2) зверху вниз номерами №1...№7 відповідно.

2. Зафіксуємо експериментальні графіки сигналів «вхід-вихід» $S_h(t) = (S_{h_1}, \dots, S_{h_n})$, $T(t) = (T_1, \dots, T_n)$ та вихідних $h_k(t) = (h_{k_1}, \dots, h_{k_n})$, $w(t) = (w_1, \dots, w_n)$ сигналів по-каскадно, з урахуванням того, що $S_{h_i} = S_h(i\Delta t)$, $T_i = T(i\Delta t)$, $h_i = h(i\Delta t)$, $w_i = w(i\Delta t)$, $k = 1, \dots, 7$ (каскади), $i = 0, \dots, n$ такої довжини, щоб найбільша низькочастотна складова мала 5-10 періодів.

3. Визначити статистичні характеристики сигналів m_{S_h} , m_T , m_{h_k} , m_w «вхід-вихід», застосовуючи функцію mean у пакеті MatLab [4], [5].

4. Визначити дисперсію сигналів D_{S_h} , D_T , D_{h_k} , D_w , використовуючи вбудовану функцію var у пакеті MatLab, а також визначити квадрат значення відповідних дисперсій, що і є середньоквадратичним відхиленням функцій σ_x [4].

5. Заповнити таблицю у вигляді:

	Sh	T	h1	...	hk	w
M						
D						
σ						

6. Відшукати кореляційні функції вхідних сигналів $R_{S_h S_h}$, R_{TT} , вихідних сигналів $R_{h_k h_k}$, R_{ww} та взаємно кореляційні функції їх комбінацій $R_{S_h h_k}$, $R_{S_h w}$, R_{Tw} , R_{wh_k} за допомогою функції xcov ППП MatLab [4].

7. Визначити оцінки спектральних $S_{S_h S_h}$, S_{TT} , $S_{h_k h_k}$, S_{ww} і взаємно спектральних $S_{S_h h_k}$, $S_{S_h w}$, S_{Tw} , S_{wh_k} щільностей експериментально отриманих сигналів ЗКШ в результаті застосування підпрограми spectrplotn [4].

8. Перевірити фізичнореалізуємість отриманих математичних моделей сигналів «вхід-вихід» у вигляді СЩ та ВСЩ [6].

9. Апроксимувати графіки оцінок спектральних щільностей методом типових логарифмічних характеристик та отримати спрощені аналітичні вирази спектральних щільностей сигналів «вхід-вихід» зерносушарки з киплячим шаром [6].

10. Скласти матриці спектральних та взаємних спектральних щільностей сигналів.

Результати. В результаті застосування даної технології, побудованої на алгоритмі Блекмена-Т'юки до реалізацій компонентів векторів сигналів керування та вихідних сигналів (рис. 3) [1] отримані оцінки відповідних кореляційних функцій (рис. 4) [2] та спектральних щільностей (рис 5, синій колір графіку) для усіх елементів множини об'єктів керування. Дискретне перетворення Фур'є згладжених оцінок кореляційних та взаємних кореляційних функцій дозволило розрахувати оцінки спектральних та взаємних спектральних щільностей відповідних сигналів. Апроксимація оцінок спектральних та взаємних спектральних щільностей методом узагальнених логарифмічних частотних характеристик дозволила визначити математичний опис цих сигналів у вигляді спектральних щільностей, графіки деяких з них показані на рис 5 (зелений колір апроксимації).

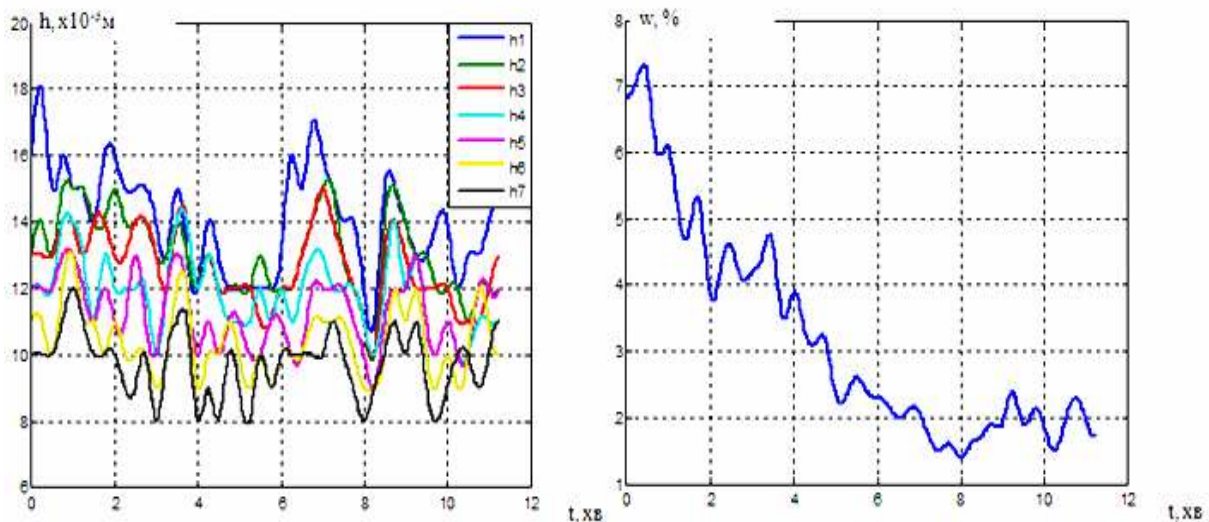


Рисунок 3 - Експериментально зняті графіки на прикладі вихідних сигналів зерносушарки (h -зміна висоти киплячого матеріалу по-каскадно №1-№7;
 w - зміна кінцевої вологості зерна на виході із сушарки)

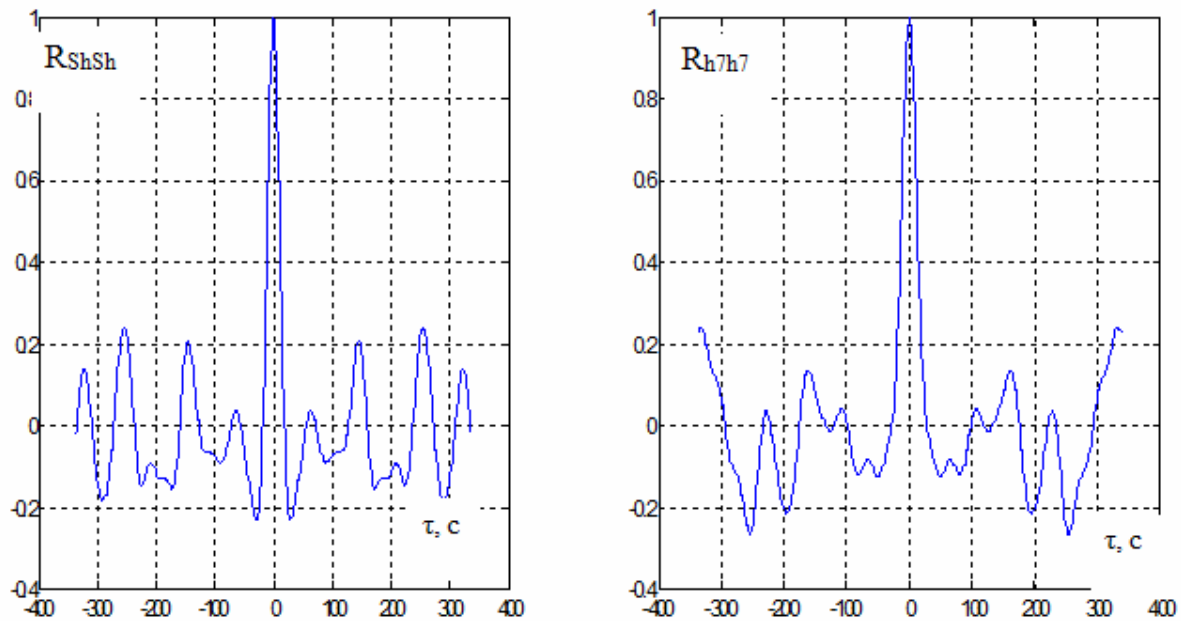


Рисунок 4 - Графіки автокореляційних функцій сигналів
вхід-вихід (сьомий каскад)

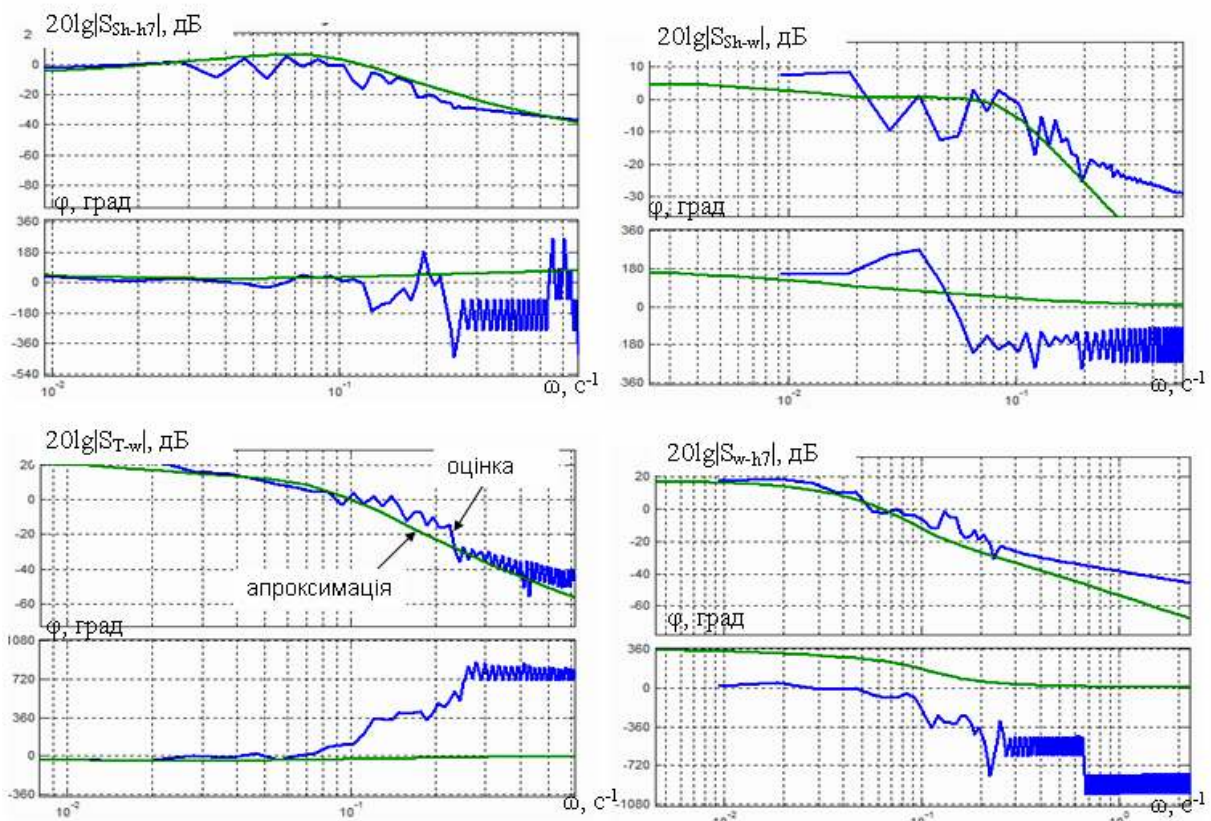


Рисунок 5 - Графіки апроксимованих спектральних щільностей сигналів

В результаті апроксимації методом узагальнених логарифмічних частотних характеристик були отримані вирази для спектральних щільностей сигналів (1)-(9):

$$S_{S_h S_h} = k_{S_h} \left| \frac{(s + a_1)(s + a_2)}{(s + a_3)(s^2 + 2d_1 a_4 s + a_4^2)} \right|^2, \quad (1)$$

$$S_{TT} = k_T \left| \frac{(s + a_1)(s + b_2)}{(s + b_3)(s^2 + 2d_1 b_4 s + b_4^2)} \right|^2, \quad (2)$$

$$S_{h_k h_k} = k_{h_k} \left| \frac{(s + c_1)(s + a_2)}{(s + a_3)(s^2 + 2d_1 a_4 s + a_4^2)} \right|^2, \quad (3)$$

$$S_{ww} = k_w \left| \frac{1}{(s + a_9)} \right|^2, \quad (4)$$

$$S_{S_h h_k} = k_{S_h h_k} \left| \frac{(s + a_1)(s + a_2)}{(s + a_3)(s^2 + 2d_1 a_4 s + a_4^2)} \right|^2 \cdot \frac{(s + a_5)}{(s + a_6)}, \quad (5)$$

$$S_{S_h w} = k_{S_h w} \left| \frac{(s + a_1)(s + a_2)}{(s + a_3)(s^2 + 2d_1 a_4 s + a_4^2)} \right|^2 \cdot \frac{(s + a_7)}{(s + a_8)}, \quad (6)$$

$$S_{Tw} = k_{Tw} \left| \frac{(s + a_3)(s + b_2)}{(s + b_3)(s^2 + 2d_1 b_4 s + b_4^2)} \right|^2 \cdot \frac{(s + a_7)}{(s + a_8)}, \quad (7)$$

$$S_{wh_k} = k_{wh_k} \left| \frac{(s + u_1)(s + u_2)}{(s + a_3)(s^2 + 2d_1 a_4 s + a_4^2)} \right|^2 \cdot \frac{(s^2 + 2d_2 a_4 s + a_4^2)(s^2 + 2d_3 b_5 s + b_5^2)}{(s + u_3)(s + u_4)}, \quad (8)$$

$$S_{h_n h_{n+1}} = k_{h_n h_{n+1}} \frac{(s + p_1)(s + p_2)(s + p_3)(s^2 + 2d_4 p_4 s + p_4^2)}{(s + a_3)(s^2 + 2d_1 a_4 s + a_4^2)} \quad (n=1, 2, \dots, 6) \quad (9)$$

Порівняльний аналіз отриманих виразів показав, що однакову структуру мають вирази автоспектральних щільностей $S_{S_h S_h}$, S_{TT} , $S_{h_k h_k}$, на відмінну від S_{ww} . Також загальними виразами описуються і взаємно спектральні щіль-

ності $S_{S_h h_k}$, $S_{S_h w}$, $S_{T_7 w}$. Спектральні і взаємно спектральні щільності сигналів по-каскадно мають загально виражену для всіх семи каскадів структуру, коефіцієнти якої змінюються від місцеположення каскаду відносно завантажуючого шиберу. Дана особливість є характерною для ЗКШ як об'єкта керування з розподіленими параметрами.

Висновки. Отримані вирази є вихідними даними для виконання структурно-параметричної ідентифікації, в результаті якої будуть знайдені матриці передаточних функцій ЗКШ та збурень, що діють на неї в процесі сушіння по-каскадно.

ЛІТЕРАТУРА / LITERATURE

1. Петренко М.М. Експериментальні дослідження впливу параметрів зерносушарки каскадного типу на показники роботи / М. М. Петренко, І. О. Скриннік, Д. В. Богатирьов, М. О. Скриннік // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин (Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник). – 2006. – №36. – С. 29-34.
2. Осадчий С.І. Ідентифікація сигналів зерносушильної установки з киплячим шаром в реальних експлуатаційних умовах / С. І. Осадчий, М. О. Скриннік, І. О. Скриннік // Вісник Хмельницького національного університету (Технічні науки). – 2007. – Т. 1. – С. 38-41
3. Методи сучасної теорії управління. Навч посібник / А.П. Ладанюк, В.Д. Кишенько, Н.М. Луцька, В.В. Івашук. – К.: НУХТ, 2010. – 196 с
4. Дьяконов В.П. MATLAB. Анализ, идентификация и моделирование систем: Специальный справочник / В.П. Дьяконов, В.А. Круглов. – СПб: Питер, 2002. – 448 с.
5. Вентцель Е.С. Теория случайных процессов и её инженерные приложения. – М.: В.школа, 2000. – 383 с.
6. Азарсков В.Н. Методология конструирования оптимальных систем стохастической стабилизации / В.Н. Азарсков, Л.Н. Блохин, Л.С. Житецкий, – монография. К.: НАУ, 2006. – 438 с.

REFERENS

1. Petrenko M.M. Experimental studies of the influence of grain parameters of the cascade type on the performance indicators / M.M. Petrenko, I.O. Skrynnik, D.V.Bogatyrev, M.O. Skrynnik // Design, manufacture and operation of agricultural machinery (National Interdepartmental scientific and technical collection). - 2006. - №36. - P. 29-34.

2. Sedimentary S.I. Identification of signals of a grain dryer with a fluidized bed in real operating conditions / S.I. Osadchy, M.O. Skrynnik, I.O. Skrynnik // Visnyk of Khmelnytsky National University (Technical Sciences). - 2007. - V. 1. - P. 38-41
3. Methods of modern management theory. Textbook / A.P. Ladanyuk, V.D. Kishenko, N.M. Lutsyk, V.V. Ivashuk. - K.: НУХТ, 2010. - 196 с
4. Dyakonov V.P. MATLAB. Analysis, identification and modeling of systems: Special reference book / ВР Дьяконов, В.А. Круглов. - СПб: Питер, 2002. - 448 с.
5. Wentzel E.S. The theory of random processes and its engineering applications. - M.: V.shkola, 2000. - 383 p.
6. Azarskov V.N. Methodology of designing optimal systems of stochastic stabilization / V.N. Азарсков, Л.Н. Blokhin, L.S. Zhitetsky, - monograph. K.: NAU, 2006. - 438 p.

Received 01.04.2021.

Accepted 07.04.2021.

Идентификация сигналов как один из этапов синтеза системы автоматической стабилизации высоты кипящего слоя в зерносушилке

В работе представлена в широком смысле проблематика синтеза системы автоматической стабилизации высоты кипящего слоя, раскрыто ее значение для повышения эффективности сушки и показано применение технологии идентификации сигналов зерносушилки с учетом ее особенностей, а именно многомерности и распределенности.

Identification of signals as one of the stages of synthesis of the system of automatic stabilization of the height of the fluidized bed in the grain dryer

Drying is one of the most responsible and energy-intensive post-harvest grain processing operations. The constant rise in heat prices has led to the search for new designs of grain dryers, or improvements to existing ones. Studies of well-known scientists such as Romankov, Rezchikov, Rashkovskaya have proven the potential effectiveness of using a fluidized bed for drying grain.

The degree to which this drying efficiency approaches the potential is determined by how much the change in the actual humidity of the material during drying approaches the theoretical drying curve at the same resource consumption and the same initial state of the material to be dried.

The study of the designs of fluidized bed grain dryers showed that they show irregular fluctuations in the height of the fluidized bed, and, accordingly, the efficiency of energy use for drying. The reason for this phenomenon is related, on the one hand, to random fluctuations in the amount of grain in the fluidized bed, and on the other - to the shortcomings of the system of automatic stabilization of its height.

Taking into account the provisions of the theory of optimal control indicates that maximizing the accuracy of stabilization of a given value of the height of the fluidized bed should be achieved by developing an optimal multidimensional stabilization system of the specified height. The basis for solving the first of these is the study of the design of a fluidized bed grain dryer.

The decomposition of the grain dryer allows to present it in the form of a set of multidimensional objects with pure delay. The size of this set is determined by the number of cascades, and the dynamic characteristics of its elements depend on the distance of the cascade to the gate.

The degree of connections between input-output signals in the form of correlation and cross-correlation functions was studied, and the physical processes occurring in the grain dryer were analyzed. As a result of applying the Blackman-Tukey algorithm to the implementations of the components of the control signal vectors and output signals, estimates of the corresponding correlation functions and spectral densities for all elements of the set of control objects were obtained. The discrete Fourier transform of smoothed estimates of correlation and cross-correlation functions allowed us to calculate estimates of the spectral and mutual spectral densities of the respective signals. Approximation of spectral and mutual spectral density estimates by the method of generalized logarithmic frequency characteristics allowed to determine the mathematical description of these signals in the form of spectral density expressions, which will be the basis for the next stage of object identification.

Федотова Маріанна Олександрівна – асистент, Центральноукраїнський національний технічний університет.

Скриннік Іван Олександрович – доцент,, Центральноукраїнський національний технічний університет.

Осадчий Сергій Іванович – професор, Центральноукраїнський національний технічний університет.

Трушаков Дмитро Володимирович – доцент, Центральноукраїнський національний технічний університет.

Федотова Марианна Александровна – ассистент, Центральноукраинский национальный технический университет.

Скрынник Иван Александрович – доцент, Центральноукраинский национальный технический университет.

Осадчий Сергей Иванович – профессор, Центральноукраинский национальный технический университет.

Трушаков Дмитрий Владимирович – доцент, Центральноукраинский национальный технический университет.

Fedotova Marianna – assistant, Central Ukrainian National Technical University.

Skrynnik Ivan - associate professor, Central Ukrainian National Technical University.

Osadchy Serhiy – professor, Central Ukrainian National Technical University.

Trushakov Dmitry - associate professor, Central Ukrainian National Technical University.

ВИКОРИСТАННЯ МЕСЕНДЖЕРІВ ЯК СИСТЕМИ ОПОВІЩЕННЯ КОРИСТУВАЧІВ ЛОКАЛЬНИХ СИСТЕМ ДОМАШНЬОЇ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Анотація. У статті розглянуто питання сповіщення користувачів локальних систем домашньої автоматизації і запропоновано підхід до рішення цієї проблеми – використання інфраструктури месенджерів загалом і технології чат-ботів зокрема.

Ключові слова: домашня автоматизація, розумний дім, месенджер, чат-бот, Інтернет-комунікації.

Постановка проблеми. У 1990 році Джон Ромкі (John Romkey), один з розробників першої версії стеку протоколів TCP/IP, які стали фундаментом сучасного Інтернету, разом зі своїм колегою Саймоном Хакеттом (Simon Hackett) привезли на щорічну виставку технологій INTEROP домашній тостер. Вони продемонстрували публіці неймовірний для тих часів експеримент: приготували тост, не торкаючись самого приладу. Відвідувачі виставки були вражені чудо-тостером та запитали інженерів відкрити секрет фокуса: виявилось, що Ромкі і Хакетту вдалося під'єднати свій тостер до локальної комп'ютерної мережі підприємства, в якому проводився захід, і налаштувати дистанційне керування. Для нас таке стало зовсім буденним, та на початку 90-х років минулого століття віддалене управління пристроями по мережі – дійсно все одно що фокус. Пізніше, в 1999 році Кевін Ештон дасть цьому «фокусу» назву, що розлетілася на весь світ, – «Інтернет речей».

Однак не зважаючи на фурор, викликаний тостером восени 1990, широкому загалові Інтернет речей відкрився лиш на рубежі 2010-х років із початком масового випуску смартфонів, планшетів і, що важливіше, мініатюрних носимих пристроїв – фітнес-браслетів, розумних годинників та інших гаджетів. «Бум» бездротових технологій і всезагальної комунікації так сильно вплинув на повсякденне життя, що люди захотіли «пов'язати» абсолютне все: від лампочок у вітальні до кавоварок і холодильників. Саме так з'являються «розумні будинки».

Системи автоматизації – слово не нове для фабрик і виробництв. От тільки процесом їх проектування, налагодженням і експлуатацією займалися, як правило, інженери-фахівці, і простому споживачеві доступ до цих технологій був заказаний.

Все змінилося у вересні 2014 року, коли Apple представила платформу HomeKit. «Зробити домашню автоматизацію розумною» – ось основна ідея нової розробки Apple. Реакція суспільства не заставила чекати: за даними аналітиків Berg Insight, у період з 2014 по 2017 роки північноамериканський ринок систем типу «розумних дім» виріс у 8 разів. Побачивши небувалу зацікавленість споживача, лідери зі сфери інформаційних технологій один за одним починають випускати власні екосистеми пристроїв, керувати якими можна всього парою натискань з будь-якого смартфона. Тепер «розумний дім» – не просто маркетингова фраза, але і символ нового витка цифровізації суспільства.

Аналіз останніх досліджень. На сьогоднішній день, серед вітчизняних науковців майже немає тих, хто займається вивченням ролі месенджерів для оповіщення користувачів локальних систем домашньої автоматизації за допомогою мережевої інфраструктури месенджерів. В основному усі дослідження, наприклад, Алексеев В.А. та Домашнев П.А [1], Маняшев Э.Р. [2] обмежуються аналізом функціонального складу чат-ботів та можливостями їх застосування разом технологією інтернету-речей.

Метою даної роботи є обґрунтування підходу до використання мережевої інфраструктури месенджерів для сповіщення користувачів локальних систем домашньої автоматизації.

Виклад основного матеріалу. Політика ІТ-гігантів передбачає розробку виключно закритого програмного забезпечення: найчастіше це пояснюється якістю роботи програм, високим ступенем мережевої безпеки або забезпеченням гарантій з боку компанії. Однак пропріетарні платформи не позбавлені серйозних недоліків. Закритий початковий код «розумного будинку» – це, перш за все, обмеження користувачів у їх можливостях, обмеження кількості під'єднаних пристроїв, підтримка яких вимагає обов'язкової сертифікації виробника, і, як не парадоксально, обмеження розвитку самої системи.

Існуючі недоліки спонукнули до дії інженерів-ентузіастів. Все більшу популярність отримують підтримувані суспільництвом відкриті системи домашньої автоматизації. З'являються найвідоміші проекти openHAB, Home Assistant і Domoticz. Широка функціональність, можливість налагодження і модифікації компонентів платформи під власні задачі, постійно зростаючий список підтри-

муваних пристроїв – все це, хоча і вимагає від рядового користувача більших знань, ніж готові пропріетарні рішення, дає значно більші можливості.

Так чому ж відкриті системи «розумного дому» не тільки не замінили пропріетарні, але і все ще залишаються нішевими? Завадою на шляху їх розвитку стала сама концепція «відкритості»: в той час, коли обслуговування пропріетарних систем бере на себе компанія-постачальник, користувач відкритої платформи зобов'язаний самостійно налагоджувати і підтримувати супутню інфраструктуру: виділяти працюючий цілодобово сервер, своєчасно оновлювати програмне забезпечення, писати скрипти автоматизації та багато виконувати інших завдань, які не привертають простого користувача.

Та всі ці деталі гаснуть на тлі куди більшої проблеми – відсутності постійної комунікації з користувачем. Подивимося, як працюють пропріетарні «розумні будинки»: після того, як користувач підключає смарт-пристрій до домашньої мережі, цей пристрій реєструється на віддаленому сервері компанії-постачальника (такі сервери, як правило, називають центрами зберігання і обробки даних, скорочено ЦЗОД), після чого все управління здійснюється також через Інтернет. Це – типовий приклад технології хмарних обчислень.



Рисунок 1 - Типова схема взаємодії компонентів пропріетарних систем домашньої автоматизації

Відкриті ж платформи на зразок згаданих раніше openHAB і Home Assistant, працюють за принципом так званих «туманних обчислень», за яким дані зберігаються і оброблюються на локальних ЦЗОДах.

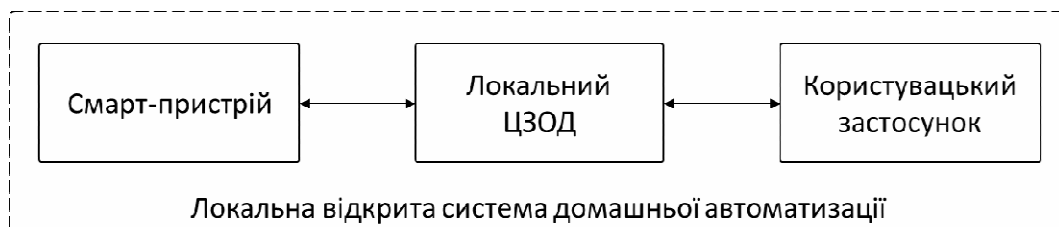


Рисунок 2 - Типова схема взаємодії компонентів локальних систем домашньої автоматизації з відкритим початковим кодом

Звідси і впливає наступна проблема: при виникненні неполадок при роботі системи або надзвичайних ситуацій у самому «розумному будинку», будь

то витік газу або води, тільки користувач, який знаходиться у локальній мережі, буде проінформований (сповіщений) про критичний стан і необхідність вжити термінові заходи щодо його усунення. Це призводить до втрати впевненості в надійності відкритої системи домашньої автоматизації і як наслідок – до переходу на готові пропрієтарні продукти.

Рішення – у використанні месенджерів. Популярність і простота використання, розвинена мережева інфраструктура, а також оптимальне споживання Інтернет-трафіку – саме ті чотири компоненти, що роблять месенджери найкращим вибором при вирішенні питання про інформування користувачів.

Як це працює? Ідея проста: використовуємо те, для чого системи «розумних будинків» і проектувалися – автоматизацію. При виникненні будь-якої події смарт-пристрій посилає на локальний ЦЗОД певний сигнал. Цей сигнал обробляється компонентом автоматизації, після чого спрацьований тригер запускає процес інформування користувача через компонент повідомлень. А при добре продуманому скрипті компонент повідомлень не тільки оповістить користувача про те, що трапилося, але і запише відповідне повідомлення до журналу подій.

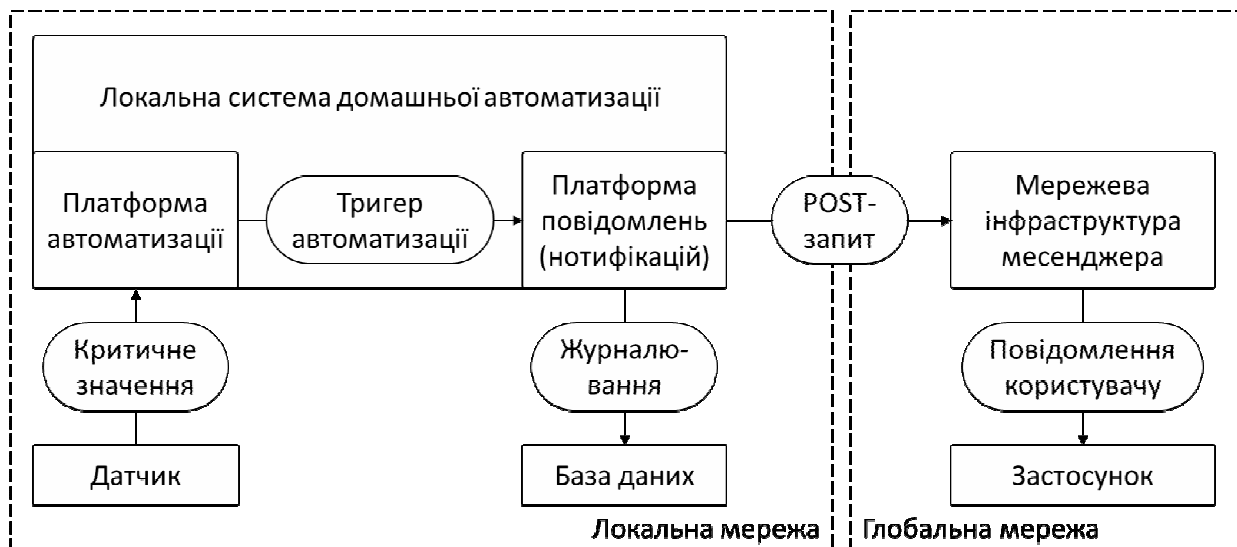


Рисунок 3 - Структурна схема системи оповіщення користувачів локальних систем домашньої автоматизації за допомогою мережевої інфраструктури месенджерів

Сам процес інформування виконується завдяки наявній інфраструктурі месенджерів і технології чат-ботів: усі найпопулярніші застосунки (Telegram, Viber, WhatsApp, Facebook Messenger, Line) надають можливість створити і підтримувати одно- чи двоспрямований канал передачі інформації між власне ко-

ристувачем і комп'ютерним вузлом за допомогою розвинених інтерфейсів прикладного програмування (API) із відкритою документацією; у даному випадку таким вузлом виступає система домашньої автоматизації. Звернення до API здійснюється через POST-запити за протоколом HTTP, тож для кінцевого користувача такі запити виглядають як посилання на спеціалізовану веб-сторінку.

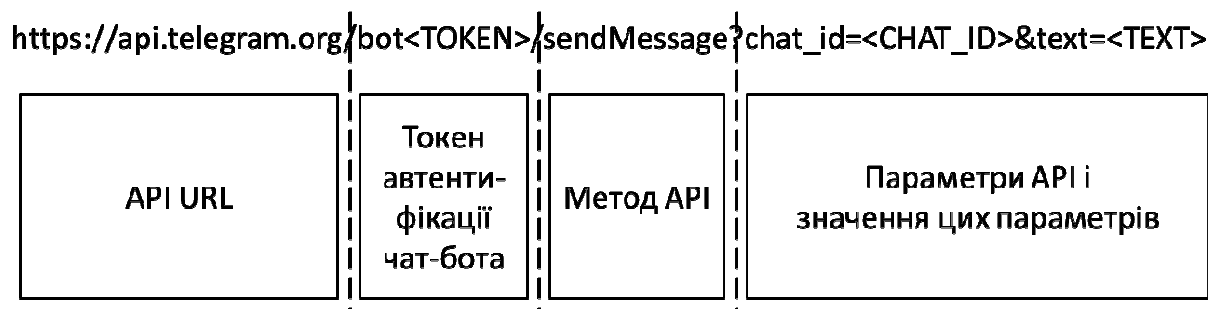


Рисунок 4 - Приклад використання API чат-ботів Telegram

Висновки. Представлений у роботі підхід доводить, що використовуючи, відповідно до розробленої структурної схеми, можливості сучасних месенджерів та інтегрованої до їхньої інфраструктури технології чат-ботів, можна досить просто, і, тим не менш, вкрай ефективно розв'язати проблему інформування у разі виникнення критичних ситуацій, тим самим підвищивши не тільки рівень надійності локальних систем домашньої автоматизації, але й рівень довіри серед користувачів.

ЛІТЕРАТУРА / LITERATURE

1. Использование функций мессенджера Telegram для обмена сообщениями между узлами распределенной вычислительной системы / Алексеев В.А., Домашнев П.А, Лаврухина Т.В., Назаркин О.А. // International Journal of Open Information Technologies, vol. 7 – 2019. – № 6. – С. 67-72.
2. Маняшев Э.Р. Возможности использования чат-ботов в технологиях Интернет-вещей / Маняшев Э.Р., Смирнова Е.В., Сюзев В.В. // Проблемы современной науки и образования – 2019. – № 11-1. – С. 21-26.
3. Махровский О.В. От изобретения радио к Интернету вещей / Махровский О.В. // Век качества – 2015. – № 2. – С. 60-67.
4. Ashton K. That 'Internet of Things' Thing [Електронний ресурс] / Kevin Ashton // RFID Journal. – 2009. – Режим доступа до ресурсу: <https://www.rfidjournal.com/that-internet-of-things-thing>.

5. Bäckman M. Smart Homes and Home Automation – 6th edition [Електронний ресурс] / M. Bäckman, J. Fagerberg // Berg Insight. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.berginsight.com/ReportPDF/ProductSheet/bi-sh6-ps.pdf>.
6. Kurkinen L. Smart Homes and Home Automation – 2nd edition [Електронний ресурс] / Lars Kurkinen // Berg Insight. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.berginsight.com/ReportPDF/ProductSheet/bi-sh6-ps.pdf>.

REFERENCES

1. Ispolzovanie funktsiy messendzhera Telegram dlya obmena soobscheniyami mezhdru uzлами raspredelennoy vychislitelnoy sistemy / Alekseev V.A., Domashnev P.A., Lavruhina T.V., Nazarkin O.A. // International Journal of Open Information Technologies, vol. 7 – 2019. – # 6. – S. 67-72.
2. Manyashev E.R. Vozmozhnosti ispolzovaniya chat-botov v tehnologiyah Internet-veschey / Manyashev E.R., Smirnova E.V., Syuzev V.V. // Problemyi sovremennoy nauki i obrazovaniya – 2019. – # 11-1. – S. 21-26.
3. Mahrovskiy O.V. Ot izobreteniya radio k Internetu veschey / Mahrovskiy O.V. // Vek kachestva – 2015. – # 2. – S. 60-67.
4. Ashton K. That ‘Internet of Things’ Thing [Електронний ресурс] / Kevin Ashton // RFID Journal. – 2009. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.rfidjournal.com/that-internet-of-things-thing>.
5. Bäckman M. Smart Homes and Home Automation – 6th edition [Електронний ресурс] / M. Bäckman, J. Fagerberg // Berg Insight. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.berginsight.com/ReportPDF/ProductSheet/bi-sh6-ps.pdf>.
- Kurkinen L. Smart Homes and Home Automation – 2nd edition [Електронний ресурс] / Lars Kurkinen // Berg Insight. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.berginsight.com/ReportPDF/ProductSheet/bi-sh6-ps.pdf>.

Received 05.04.2021.

Accepted 09.04.2021.

Использование мессенджеров в качестве системы оповещения пользователей локальных систем домашней автоматизации

В статье рассматривается вопрос об оповещении пользователей локальных систем домашней автоматизации и предложен подход к решению этой проблемы – использование инфраструктуры мессенджеров в целом и технологии чат-ботов в частности.

Using messengers as notification system for the local home automation systems

In this paper, we consider the issue of notifying local home automation systems users and we propose an approach – to use messengers’ infrastructure and the chat-bot technologies integrated into it.

The approach presented in the work proves that using, in accordance with the developed structural scheme, the capabilities of modern instant messengers and the chatbot technology integrated into their infrastructure, it is quite simple, and, nevertheless, extremely effective to solve the problem of informing in case of critical situations. thereby increasing not only the level of reliability of local home automation systems, but also the level of trust among users.

Цвіркун Леонід Іванович – к.т.н., професор кафедри інформаційних технологій та комп’ютерної інженерії Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» (м. Дніпро).

Бешта Лілія Валеріївна – асистент кафедри інформаційних технологій та комп’ютерної інженерії Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» (м. Дніпро).

Миронов Юрій Анатолійович – студент групи 123-17-1 Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» (м. Дніпро).

Цвиркун Леонид Иванович – к.т.н., профессор кафедры информационных технологий и компьютерной инженерии Национального технического университета «Днепровская политехника» (г. Днепр).

Бешта Лилия Валериевна – ассистент кафедры информационных технологий и компьютерной инженерии Национального технического университета «Днепровская политехника» (г. Днепр).

Миронов Юрий Анатоліевич – студент группы 123-17-1 Национального технического университета «Днепровская политехника» (г. Днепр).

Tsvirkun Leonid – candidate of technical science, professor of department of information technologies and computer engineering of the National technical university "Dneprovskaya polytechnika", Dnipro, Ukraine.

Beshta Liliia – assistant of department of information technologies and computer engineering of the National technical university "Dneprovskaya polytechnika", Dnipro, Ukraine.

Mironov Yuriy Anatolyovych – student of group 123-17-1 of the National Technical University "Dnipro Polytechnic", Dnipro, Ukraine.

THE CYBER-PHYSICAL SYSTEM FOR COULOSTATIC EXPERIMENT. THE CORROSION MONITORING UNIT

Annotation. Cyber-physical approach shows new perspectives in solution of actual problem of computerized corrosion monitoring. It was analyzed for special case of the coulостatic technique used for determination of corrosion rate. Basic problems concerning polarization control, computing of relaxation equations, simulation of hydrodynamic mode were revealed.

Key words: cyber-physical system, electrochemistry, corrosion, simulation, measurement.

1. Introduction. In previous paper mathematical model and corresponding computer application for determination of adsorption characteristics in coulостatic experiments on solid electrodes were described [1]. Following article was devoted to analysis of effectiveness of cyber-physical systems (CPS) in electrochemical measurements. It was shown that measurements connected tightly environment, computation and communication; the whole system is multi-dynamic, with feedback interaction between 'cyber' and 'physical' parts; volume of data to be processed is unlimited in many cases.

The term 'cyber-physical systems' refers to integration of computation with physical processes [4]. Usually, the term used to describe embedded systems as well as networks monitoring and controlling physical processes which, through feedback circuits, can affect computation flows. They combine cyber capabilities (communication, computation and control) with physical capabilities (sensing and actuation) to solve problems that neither part could solve alone. Many contemporary experiments in sciences, in particular in physics, require the observation of experiment outcomes with IT devices. The combination of physical experiments and IT devices can be seen as a special case of CPS [3].

2. The problem. Methods and devices for estimation of corrosional losses or corrosion rate constitute the basis of the corrosion monitoring. The simplest method is the measurement of the mass losses for check samples. Nevertheless, even thou it produces most relying data, it is time-consuming, laborious and demonstrates poor

sensitivity (about 10^{-6} g). That is why electrochemical methods are very popular. They can be easily automated, are highly sensitive (corresponding threshold of mass losses detection is 10^{-9} g) and allow to determine instant values of corrosion rate. Among them the techniques registering the respond for applied direct or alternative signal seem to have the best perspectives. This group that includes the polarisation resistance method, impedance spectroscopy, coulometric and other relaxational techniques is based on assumption of direct relations between corrosion rate and such characteristics like polarization resistance R_p and charge transfer resistance R_F .

This assumption was put forward in Stern's work [5], who introduced the concept of linear polarization for description of linear relation between the polarization current density Δi and small potential shift ΔE in the region of corrosion potential E_{corr} :

$$\Delta E = R_p \Delta i \quad (1)$$

As far as relaxational methods are considered, the most appropriate definition for polarization resistance is:

$$R_p = Z(j0) - Z(j\infty) = \operatorname{Re} Z(j0) - \operatorname{Re} Z(j\infty) \quad (2)$$

where $Z(j\omega)$ is the electrochemical impedance of the system at frequency ω . In this case the whole process of corrosion rate measurement can be divided onto three stages:

- 1) determination of the process' mechanism, selection of corresponding definition of R_p and equations which depict relations between the mathematical model parameters and characteristic constants of the process;
- 2) determination of corresponding constants and calculation of parameters;
- 3) determination of R_p and calculation of corrosion rate.

One must note that there is plenty of factors those can change dramatically the whole scope of concepts mentioned at the first stage description: passivation, hydrodynamic mode, presence of inhibitors or other surfactants, chemical or physical inhomogeneity of corroded system, and the like. Hence, time limitations for the determination process occur and requirements to the computer system can be described in terms of requirements to the cyber-physical one. From other side, in this specific case of electrochemical measurements some functions of the CPS described

earlier [1] become not actual; e.g., potential/current programming control, sensor preparation/renovation; others, such as thermal and hydrodynamic control, reagents input are getting more important.

3. Analysis of requirements. Corrosion monitoring refers to processes occurring on real objects, such as metal constructions, elements of cars, ships, chemical equipment and so on. Polarization of such large surfaces is often impossible. To solve the polarization problem, people use activation of smaller part of the surface or special probes made of the same material. Nevertheless, polarization generators of monitoring CPS must be rather more powerful than usual laboratory device. From other side, polarization should not change the state of the surface, that is, must be small in comparison with corrosion potential E_{corr} . This means that both generators and potential registers are supposed to be elements of the unit. The system must make a decision on the optimal polarization value in each new measurement cycle. The CPS must also make decisions on selection of relevant model for corrosion process at each jump of E_{corr} .

Another characteristic feature of considered electrochemical objects is dependence of their dynamics on their previous states, i.e., memory. Typical time-response of such object may be described, for example, by equation

$$K(dnE/dt) = -iF \quad (3)$$

where

$$\frac{d^n E}{dt^n} \equiv \frac{I}{\Gamma(1-n)} \int_0^t \frac{dE(\tau)/d\tau}{(t-\tau)^n} d\tau \quad (4)$$

There exist a number of computing methods for calculation of functionals of (4) type, for example, ones developed by Oldham [6]. Developed 50 years ago, they correspond adequately to package technologies of computing usual for that time practice. Real-time systems, and CPS as a part of this group made creation of new methods actual task again. One approach to the problem has been elaborated by the author based on expansion of the function under study in series of functions with "good" transforms of (4) type. This routine is possible because of linearity of (3) in coulometric case, but it is not true in common case of relaxation techniques. Linearity and possibility of measurements in low conducting media are real advantages of the coulometric method.

One more problem of the corrosion monitoring CPS stems from dependence of corrosion products spatial distribution on hydrodynamic mode near the object's sur-

face. In limiting case of zero flow the products form a film of variant density on the object's surface that might inhibit corrosion process to some degree. Other limiting case – when the flow carries the products away – is rather simple one. Direct computing with solving hydrodynamic equations does not work because of time constraints; vast literature referring the problem indicates good perspective for neural network methods in simulation of such processes. This approach seems to be fruitful even in final stage to predict moment of object's destruction.

3. Results. Cyber-physical approach shows new perspectives in solution of actual problem of computerized corrosion monitoring. It was analyzed for special case of the coulometric technique used for determination of corrosion rate. Measurements connected tightly environment, computation and communication; basic problems concerning polarization control, computing of relaxation equations, simulation of hydrodynamic mode were revealed. Important role of neural networks in future cyber-physical monitoring systems was emphasized.

REFERENCES

1. Kapitonov A.G. The computer system for coulometric experiments. The adsorption measurements unit //System technologies. – 3 (122). – Dnipro, 2019. – C. 55-58. ISSN 1562-9945
2. Kapitonov O.G. Cyber-physical systems in electrochemical measurements //System technologies. – 4(129). – Dnipro, 2020. – C.3-7. ISSN 1562-9945
3. Marwedel P. Embedded System Design. Embedded Systems, Foundations of Cyber-Physical Systems, and the Internet of Things //Springer International Publishing AG, 3rd edition. ISBN 978-3-319-56045-8, 2018
4. Lee E.A. and Seshia S.A. Introduction to Embedded Systems - A Cyber-Physical Systems Approach, <http://LeeSeshia.org>, ISBN 978-0-557-70857-4, 2011.
5. Stern M. A method for determining corrosion rates from linear polarization data.// Corrosion.- 1958.- v.14 - №9.- P.440t-444t.
6. Oldham K., Spanier J. The fractional calculus // Academic Press, ISBN 0-12-52550-0, 1974.

Received 12.04.2021.

Accepted 16.04.2021.

Киберфизическая система кулоностатического эксперимента.

Модуль коррозионного мониторинга

Киберфизический подход раскрывает новые перспективы в решении актуальной проблемы компьютеризованного коррозионного мониторинга. Проанализирован случай использования кулоностатического метода для определения скорости коррозии. Выявлены основные проблемы, касающиеся правления поляризацией, решения уравнений релаксации, моделирования гидродинамического режима.

Кіберфізична система кулоностатичного експеримента.

Модуль корозійного моніторингу

Кіберфізичний підхід розкриває нові перспективи у рішенні актуальної проблеми комп'ютеризованого корозійного моніторингу. Проаналізовано випадок застосування кулоностатичного метода для визначення швидкості корозії. Виявлено основні проблеми, які стосуються керування поляризацією, рішення рівнянь релаксації, моделювання гідродинамічного режиму.

Капітонов Олександр Георгійович - доцент кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем ДВНЗ «Український Державний хіміко-технологічний університет».

Капитонов Александр Георгиевич - доцент кафедры специализированных компьютерных систем ГВУЗ «Украинский Государственный химико-технологический университет».

Kapitonov Oleksandr - associate professor, department of specialized computer systems, Ukrainian State University of Chemical Engineering.

СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ДО АНАЛІЗУ ДАНИХ ЩОДО РОЗВИТКУ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ПАНДЕМІЇ

Анотація. Питання аналізу та прогнозування розвитку пандемії коронавірусної інфекції є актуальним не лише для України, але і для багатьох інших країн. Однією з ключових проблем є недостовірність наявних даних по основних показниках пандемії, зокрема, по кількості інфікованих, кількості летальних випадків, кількості важких випадків тощо. Це перешкоджає вчасному прийняттю обґрунтованих рішень щодо протидії поширенню інфекції. Тому актуальним є залучення непрямих даних для підвищення надійності результатів аналізу та прогнозів. У роботі запропоновано елементи системного підходу до аналізу наслідків та прогнозування розвитку пандемії на основі комплексного застосування офіційних даних і додаткових джерел інформації.

Ключові слова: пандемія, Covid-19, прогнозування, статистичні дані, захворюваність, смертність, IFR, математична модель, пошуковий запит.

Постановка проблеми. Пандемія коронавірусної інфекції стала одним з найбільших викликів людству за останні кілька десятиріч. Ефективне запобігання її розвитку є задачею прийняття складних за структурою рішень з багатьма критеріями, високою невизначеністю результатів того чи іншого вибору, недостатньо зрозумілими зворотними зв'язками. Протягом останнього року з'явилася велика кількість статистичної інформації про основні показники пандемії. Втім, на думку більшості дослідників, первинні дані щодо кількості інфікованих та летальних випадків є істотно заниженими, що робить недостовірними інші важливі показники, зокрема, ті, що характеризують характер динаміки, швидкість поширення інфекції та її летальність. Водночас протягом останнього року з'явилася велика кількість результатів досліджень, що дають підстави залучати додаткові до офіційних даних джерела інформації для підвищення якості аналізу і прогнозів розвитку пандемії. Були істотно розвинені математичні моделі поширення інфекцій, які дають змогу уточнювати окремі показники. Істотно покращилося розуміння будови і властивостей вірусу, природи коронавірусної інфекції, її впливу на організм людини та

відділених наслідків хвороби. Все це дає змогу поставити питання про необхідність створення більш комплексних підходів до аналізу і прогнозування розвитку пандемії.

Мета дослідження. Обґрунтування елементів системного підходу до аналізу і прогнозування розвитку пандемії, що враховує офіційні дані, результати математичного моделювання та непрямі дані, які можуть бути отримані з відкритих джерел.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Ще на початку пандемії в Україні автор зазначав актуальність створення і оприлюднення масивів надійних і достатньо повних даних не лише безпосередньо про поширення коронавірусної інфекції, але і про фактори, які можуть впливати на цей процес, що могло б надати змогу підключити до пошуку оптимальних варіантів вирішення проблем значну кількість фахівців з аналізу даних і за рахунок цього послабити наслідки пандемії [1]. На сьогодні у світі та у багатьох країнах такі масиви інформації вже є, і вони поступово наповнюються новими даними. В Україні ситуація з наявністю достовірних даних є значно гіршою. Зокрема, за оцінками Робочої групи НАН України, реальна кількість померлих внаслідок пандемії в Україні може бути втричі більшою за офіційні дані [2]. Ще більш істотною може бути недооцінка кількості інфікованих. Наслідком цього є істотний розкид оцінок показників летальності.

Одним з найважливіших показників інфекції є IFR (Infection fatality rate – відношення кількості померлих від інфекції до кількості інфікованих. На початку пандемії його оцінювали переважно за офіційною статистикою зареєстрованих випадків (CFR), які інколи перевищували 10 – 20%. Але пізніше, з'явилися дослідження, що враховують результати масових обстежень на наявність антитіл, уточнені показники смертності тощо [3; 4]. За різними даними найбільш імовірні середні значення перебувають у межах 0,2 – 1%. Але вони можуть істотно варіюватися залежно від вікової групи та супутніх захворювань. Після першої хвилі з'явилася можливість отримати нижні оцінки IFR на основі офіційних даних щодо кількості летальних випадків у розрахунку на 1 млн. мешканців [5]. Для різних країн з різною віковою структурою населення вони перебувають у межах від 0,05 до 0,2%. Водночас слід зазначити, що на такі оцінки у різний бік впливають обмежений час збереження антитіл в організмі людини, можливість повторного інфікування та неповнота даних про летальні випадки.

Для моделювання розвитку пандемії найбільш використовуваними є модифіковані SEIR моделі, з яких найбільш інформативними у контексті мети дослідження є моделі Imperial College London (ICL) (<https://mrc-ide.github.io/global-lmic-reports>) та The Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME) (<https://covid19.healthdata.org/global>). Ці моделі надають ретроспективні оцінки загальної кількості інфікованих та прогнози за окремими показниками як для окремих країн, так і у глобальному вимірі. Також вони оцінюють вплив деяких запобіжних заходів на розвиток пандемії. Водночас, ці моделі базуються на офіційній статистиці смертності, що, як зазначено вище, не є достовірною, а також оцінках IFR, які мають істотний розкид. Крім того, вони не повною мірою враховують запізнення надходження інформації. Все це збільшує розкид модельних оцінок.

Розвиток Інтернет технологій і систем відкритих даних стимулював в останнє десятиріччя становлення нового наукового напрямку – інфомедіології (інформаційної епідеміології), що передбачає застосування інформації і даних з Інтернет та інших ресурсів для прогнозування, прийняття рішень та інформування щодо спалахів епідемічних хвороб [6, 7]. Зокрема, це можуть бути аналіз запитів пошукових систем Інтернету, моніторинг оновлень статусів людей у Twitter та інших мікроблогах, виявлення та кількісна оцінка диспропорцій у доступності медичної інформації, виявлення та моніторинг публікацій, що стосуються охорони здоров'я, в Інтернет, автоматизовані інструменти для вимірювання поширення інформації та перекладу, відстеження ефективності маркетингових кампаній у галузі охорони здоров'я тощо. Останнім часом такі технології використовуються багатьма дослідниками для дослідження розвитку пандемії корона вірусної інфекції. Результати відповідних досліджень є важливими для підвищення ефективності і вчасності рішень, що приймаються урядами і міжнародними організаціями для протидії пандемії.

Згідно з [8] для США кількість пошукових запитів за ключовими словами «face masks», «Lysol», та «COVID stimulus check» має сильну кореляцію з щоденною кількістю нових випадків по всій території США (коефіцієнти кореляції Пірсона дорівнюють, відповідно, 0.86, 0.82 та 0.79). Кількість пошукових запитів за ще декількома ключовими словами має значну кореляцію для окремих штатів. Також було показано, що значна кореляція спостерігається за часового лагу до 16 діб, що дає змогу використовувати аналіз пошукових запитів для прогнозування нових спалахів.

Аналогічні результати отримано у Китаї для коефіцієнтів кореляції Спірмена між кількістю підозр та лабораторно підтверджених випадків з одного боку та кількістю запитів за ключовими словами «коронавірус» та «пневмонія» у декількох пошукових системах [9]. При цьому найбільші значення коефіцієнтів кореляції були в діапазоні 0,89 – 96 і спостерігалися для лагів 6 – 8 діб для кількості нових підозр та 8 – 12 діб для лабораторно підтверджених випадків.

В [10] встановлено наявність істотної кореляції між кількістю запитів, що стосуються запахів і початком спалахів пандемії в Великій Британії, Ірані, Іспанії, Італії, Нідерландах, Німеччині, США та Франції.

Аналогічні дані про наявність істотної кореляції між окремими видами пошукових запитів та показниками захворюваності та смертності отримано в [11] для низки європейських країн та регіонів, у [12] для Ірану та в низці інших публікацій. Водночас, у [13] зазначається, що з віддаленням від точки початку спалаху кореляція між кількістю пошукових запитів і показниками захворюваності зменшується і може ставати від'ємною через зменшення зацікавленості користувачів пошукових систем..

Викладення основного матеріалу дослідження. Відкриті масиви офіційних статистичних даних по багатьох країнах доступні на сайтах <https://www.worldometers.info/coronavirus>, <https://ourworldindata.org/coronavirus>, <https://github.com/owid/covid-19-data> та інших. Крім того, багато країн мають відкриті ресурси державних органів, університетів, наукових установ, громадських організацій з додатковою інформацією.

У таблиці 1 наведено середні модельні оцінки та офіційні показники щодо окремих спалахів захворюваності для деяких країн (вихідні дані взято з <https://ourworldindata.org/covid-models>). Як видно з таблиці, максимальні кількості щоденних випадків для модельних даних можуть в 50 разів перевищувати показники офіційних даних, а дати максимуму – відрізнятися більш, ніж на місяць. Якщо брати мінімальні та максимальні модельні оцінки, відмінності дат і висот максимумів можуть бути ще більшими. Такі дані є важливими для побудови середньо- і довгострокових прогнозів, де важливо знати загальну частку населення, яка перехворіла, а також для оцінювання летальності інфекції. На жаль, для першого показника на сьогодні по багатьох країнах і регіонах існує дуже великий розкид оцінок від кількох відсотків до

понад 50-70%. Це змушує розглядати при прогнозуванні і прийнятті рішень істотно різні сценарії подальшого розвитку пандемії.

Для уточнення даних про летальність можуть бути використані дані щодо загальної смертності з усіх причин. Їх можна отримати на сайті Державної служби статистики України (http://ukrstat.gov.ua/operativ/menu/menu_u/ds.htm) та з сайту «Економіка карантину» (<https://q.rating.zone>), який використовує офіційні дані Міністерства юстиції.

Таблиця 1

Показники спалахів захворюваності для деяких країн у 2020 р.

Країна	Максимальна щоденна кількість (zareestrovano)	Максимальна щоденна кількість (ICL)	Максимальна щоденна кількість (IHME)	Дата максимуму (zareestrovano)	Дата максимуму (ICL)	Дата максимуму (IHME)
Аргентина	14941	131134	71030	22.10	26.09	18.09
Австралія	383	2317	479	30.03	26.03	25.03
Бельгія	1453	66531	16276	15.04	31.03	24.03
Греція	2673	25049	5971	18.11	18.11	11.11
Індія	93199	427736	1,14·10 ⁶	16.09	20.08	07-08.08
Німеччина	5837	47110	20534	02.04	04.04	25.03
США	32284	515231	229647	10.04	07.04	27.03
Україна	14270	65129	37233	29.11	14.11	19.11
Чехія	12585	55458	19488	28.10	23.10	17.10

Інформація Державної служби статистики є помісячною і зазвичай з'являється із запізненням на два місяці. Інформація Мінюсту є щоденною і постійно поповнюється. Але дані останнього місяця містять примітку, що реєстр ще наповнюється. Насправді, навіть більш ранні дані постійно корегуються протягом щонайменше 2 місяців. Через це дані по загальній смертності непридатні для цілей оперативного аналізу і прогнозування. Але вони є важливими з погляду ретроспективного аналізу, а також оцінки загального стану і середньотривалості довгострокового прогнозування.

При аналізі розвитку пандемії такі дані використовують, зокрема, для розрахунку так званої «надлишкової» смертності, яка є різницею між смертністю за певний місяць чи тиждень та середнім значенням аналогічного показни-

ка за декілька попередніх років. За даними Євростат (https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Excess_mortality_-_statistics#Excess_mortality_in_Europe_between_January_and_November_2020) за період з березня по листопад 2020 р. «надлишкова смертність» в країнах ЄС становила близько 450 тис. осіб. При цьому, розрахунок за даними (<https://www.worldometers.info/coronavirus>) свідчить, що загальна кількість зареєстрованих за цей період летальних випадків асоційованих з коронавірусною інфекцією становила у країнах ЄС близько 330 тис., або понад 73% від «надлишкової смертності».

За даними [14] за 23.02.2021 у розрахунку на 100 тис. мешканців найбільша «надлишкова смертність» від початку пандемії була зафіксована у Болгарії (272), Перу (261), Литві (258), Росії (252) та Сербії (233). Натомість для деяких країн з низьким рівнем захворюваності вона була навіть від'ємною, зокрема, для Нової Зеландії (-40), Монголії (-38), Тайваню (-21), Австралії (-20), Кіпру (-17). Виключенням тут є Кіпр, де кількість офіційно зареєстрованих випадків у розрахунку на 1 млн. мешканців майже вдвічі перевищує середньосвітовий показник.

Для України «надлишкову смертність» було розраховано за даними Державної служби статистики та сайту «Економіка карантину». За базовий рівень було взято щомісячні середні значення кількостей померлих у 2015 – 2019 р., скореговані на зміну загальної чисельності населення України за відповідний період. Найбільші значення «надлишкової смертності» (у відсотках до базового рівня) спостерігалися у вересні (15,8%), жовтні (20,3%), листопаді (33,7%) та грудні (29,2%). У січні 2021 р. за неповними даними сайту «Економіка карантину» на 27.02.2021 очікується істотне зменшення показника до значення менш, ніж 2%. У розрахунку на 100 тис. мешканців «надлишкова смертність» за 2020 р. становить близько 38,8 тис. (у перші 5 місяців спостерігалися від'ємні значення показника), а за період з червня 2020 р. по січень 2021 р. – близько 53,5 тис., або 14,1% від базового рівня за цей період. З огляду на типові значення інкубаційного періоду, часу від появи симптомів до тестування та часу від позитивного результату тестування до смерті, які сумарно становлять 2 – 4 тижні, наведені дані дають підстави припустити, що пік захворюваності реально мав місце наприкінці жовтня – початку листопада, тобто значно раніше за дату піку за офіційними даними та, імовірно, раніше, за дати модельних оцінок, наведені у табл. 1. Останнє може бути зумовлено тим, що для отримання модельних

оцінок можуть використовуватися оперативні щоденні дані МОЗ України щодо смертності, які не враховують наступне корегування за датами смерті.

Додаткову корисну інформацію про перебіг пандемії можуть надати пошукові запити за специфічними для неї темами та ключовими словами: «пневмонія», «нюх», «пульсоксиметр» тощо. Як свідчить такий аналіз, перші спалахи інтересу за окремими ключовими словами у багатьох країнах різних регіонів (Австралія, Іспанія, Китай, Малайзія, США, Японія та ін.) спостерігалися наприкінці грудня 2019 р. – січні 2020 р. В деяких випадках (країни Європи, США) вони збігалися за часом з щорічними піками зацікавленості. Але для багатьох інших країн сезонних піків немає, або вони припадають на інший час. З урахуванням інкубаційного періоду цей факт можна розглядати як свідчення того, що вже на початку січня 2020 р. пандемія поширилася на всі континенти (це може бути пов'язано з міграцією під час Різдвяних канікул), а запобіжні заходи вживалися з великим запізненням.

Початок спалаху інтересу до зазначених тем зазвичай відбувався істотно раніше, ніж починалося зростання кількості офіційно зареєстрованих випадків. А в деяких країнах спостерігалися спалахи інтересу до них задовго до початку фіксації випадків захворюваності. Приміром, для Сінгапуру та Японії перші спалахи захворюваності офіційно були зареєстровані наприкінці березня – у квітні. Але за даними пошукових запитів їм могли передувати більші за масштабом спалахи захворюваності у січні – лютому.

Для України зафіксовано три спалахи інтересу до теми «пневмонія». Найбільший за висотою припадав на тиждень 22-28.03.2020, другий – на 25-31.10.2020 (90% від першого) і третій – на 19-25.01.2020 (49%). Січневий пік міг відображати сезонний підйом зацікавленості, але за три попередні роки висоти сезонних піків ніколи не перевищували показника 35%. За темою «нюх» було лише 2 спалахи інтересу – 18-24.10.2020 та значно менший (14% від жовтневого) 22-28.03.2020. За пошуковим терміном «пульсоксиметр» теж було лише два спалахи інтересу – 15-21.11.2020 та менший за розміром (53%) 15-21.03.2020. За пошуковим терміном «цинк» основний пік був 08-14.11.2020, а менший за розміром (35%) перший пік – 15-21.03.2020.

Розрахований за даними <https://www.worldometers.info/coronavirus> щодо зареєстрованих випадків захворюваності і смертності показник CFR для більшості країн перебуває в межах 1 – 3%. Разом з тим, для деяких країн він протягом тривалого часу залишається меншим за 0,5%. Серед них Сінгапур (0,05%), Катар (0,16%), Мальдіви (0,31%), ОАЕ (0,31%), Таїланд (0,32%), Бахрейн (0,36%),

Малайзія (0,37%), Ісландія (0,48%). У більшості з цих країн кількість зареєстрованих випадків у розрахунку на 1 млн. мешканців є вищою за середньосвітовий показник (виключеннями є Сінгапур, Малайзія і Таїланд). Але вони вирізняються високими показниками тестування, зокрема, під час весняної хвилі пандемії. Це дає підстави припустити, що за відсутності перевантаження медичної системи показник IFR імовірно не перевищуватиме 0,5%.

З іншого боку, на сьогодні у низці країн, територій та штатів США кількість зареєстрованих летальних випадків перевищує 0,2% загальної чисельності населення. Зокрема, це: Гібралтар (0,27%), Нью-Джерсі (0,26%), Нью-Йорк та Род Айленд (по 0,24%), Массачусетс (0,23%), Сан-Марино (0,21%) та деякі інші. Слід зазначити, що у більшості штатів США з найвищою смертністю та у Сан-Марино на кінець лютого 2021 р. зберігається високий рівень щоденної кількості нових зареєстрованих випадків захворюваності. Це дає підстави припускати, що реальні середні значення IFR будуть у межах 0,3 – 0,5%.

Висновки. Отримані дані свідчать, що залучення додаткових джерел інформації дає змогу компенсувати недоліки офіційних оперативних даних і глибше зрозуміти закономірності виникнення і розвитку пандемії коронавірусної інфекції. Водночас, системний підхід до прийняття рішень з протидії розвитку пандемії, має комплексно враховувати як інформацію про статистику захворюваності і смертності, так і іншу інформацію, зокрема, щодо мутацій вірусу, випадків повторної захворюваності, вакцинації, тестування, соціально-економічних наслідків тощо. Це має бути предметом наступних досліджень.

ЛІТЕРАТУРА / LITERATURE

1. Бахрушин В.Є. Несистемні думки системного аналітика стосовно засобів боротьби з пандемією коронавірусу. DOI: 10.13140/RG.2.2.22487.01444
2. Прогноз розвитку епідемії COVID-19 в Україні в період 11 – 25 січня 2021 р. «Прогноз РГ-35». URL: <http://www.nas.gov.ua/UA/Messages/Pages/View.aspx?MessageID=7356>.
3. Streeck, H., Schulte, B., Kümmerer, B.M. et al. Infection fatality rate of SARS-CoV2 in a super-spreading event in Germany. Nat Commun 11, 5829 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41467-020-19509-y>.
4. Levin AT, Hanage WP, Owusu-Boaitey N, Cochran KB, Walsh SP, Meyerowitz-Katz G. Assessing the age specificity of infection fatality rates for COVID-19: systematic review, meta-analysis, and public policy implications. Eur J Epidemiol. 2020 Dec;35(12):1123-1138. doi: 10.1007/s10654-020-00698-1. Epub 2020 Dec 8. PMID: 33289900; PMCID: PMC7721859.

5. Bakhrushin V. Risks of Data Inconsistency in Information Systems Used for Predicting the Pandemics Development / Bakhrushin V., Bakurova A., Pasichnyk M, Tereschenko E. // 1st International Workshop on Computational & Information Technologies for Risk-Informed Systems (CITRisk 2020) co-located with XX International scientific and technical conference on Information Technologies in Education and Management (ITEM 2020). Kherson, Ukraine, October 15-16, 2020. - Kherson National Technical University: 2020. – Vol-2805. – P. 1-15.

URL: <http://ceur-ws.org/Vol-2805/invited1.pdf>.

6. Eysenbach G. Infodemiology and Infoveillance: Framework for an Emerging Set of Public Health Informatics Methods to Analyze Search, Communication and Publication Behavior on the Internet. J Med Internet Res 2009;11(1):e11. DOI: 10.2196/jmir.1157. PMID: 19329408. PMCID: PMC2762766.

7. Eysenbach G. Infodemiology and infoveillance tracking online health information and cyberbehavior for public health. Am J Prev Med. 2011 May;40(5 Suppl 2):S154-8. doi: 10.1016/j.amepre.2011.02.006. PMID: 21521589.

8. Shyam J. Kurian, Atiq ur Rehman Bhatti, Mohammed Ali Alvi, Henry H. Ting, Curtis Storlie, Patrick M. Wilson, Nilay D. Shah, Hongfang Liu, Mohamad Bydon. Correlations Between COVID-19 Cases and Google Trends Data in the United States: A State-by-State Analysis, Mayo Clinic Proceedings, V. 95, Is. 11, 2020. P. 2370-2381, ISSN 0025-6196, <https://doi.org/10.1016/j.mayocp.2020.08.022>.

9. Li Cuilian, Chen Li Jia, Chen Xueyu, Zhang Mingzhi, Pang Chi Pui, Chen Haoyu. Retrospective analysis of the possibility of predicting the COVID-19 outbreak from Internet searches and social media data, China, 2020. Euro Surveill. 2020;25(10):pii=2000199. <https://doi.org/10.2807/1560-7917.ES.2020.25.10.2000199>.

10. Walker, A, Hopkins, C, Surda, P. The use of Google Trends to investigate the loss of smell related searches during COVID-19 outbreak. Int Forum Allergy Rhinol. 2020; 10: 839– 847. URL:

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/alr.22580>.

11. Mavragani A/ Tracking COVID-19 in Europe: Infodemiology Approach. JMIR Public Health Surveill 2020;6(2):e18941. URL:

<https://publichealth.jmir.org/2020/2/e18941>. DOI: 10.2196/18941.

12. Ayyoubzadeh S, Ayyoubzadeh S, Zahedi H, Ahmadi M, R Niakan Kalhori S. Predicting COVID-19 Incidence Through Analysis of Google Trends Data in Iran: Data Mining and Deep Learning Pilot Study. JMIR Public Health Surveill 2020;6(2):e18828. URL: <https://publichealth.jmir.org/2020/2/e18828>.

DOI: 10.2196/18828.

13. Mavragani, A., Gkillas, K. COVID-19 predictability in the United States using Google Trends time series. Sci Rep 10, 20693 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-77275-9>.
14. Tracking covid-19 excess deaths across countries. The Economist (27.02.2021). URL: https://www.economist.com/graphic-detail/coronavirus-excess-deaths-tracker?fbclid=IwAR2WV9O-WpDel4laHKzC3ELnVMol1RAzlQlaWi9_9FQ_4XHZ6s6MGdgy0gM

REFERENCES

1. Bakhrushyn, V. Unsystem thouts of system analyst on how to control the coronavirus pandemic. DOI: 10.13140/RG.2.2.22487.01444
2. Forecast of COVID-19 pandemic in Ukraine on January 11 – 25 2021 p. «Prognoz RG-35». URL: <http://www.nas.gov.ua/UA/Messages/Pages/View.aspx?MessageID=7356>.
3. Streeck, H., Schulte, B., Kümmerer, B.M. et al. Infection fatality rate of SARS-CoV2 in a super-spreading event in Germany. Nat Commun 11, 5829 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41467-020-19509-y>.
4. Levin AT, Hanage WP, Owusu-Boaitey N, Cochran KB, Walsh SP, Meyerowitz-Katz G. Assessing the age specificity of infection fatality rates for COVID-19: systematic review, meta-analysis, and public policy implications. Eur J Epidemiol. 2020 Dec;35(12):1123-1138. doi: 10.1007/s10654-020-00698-1. Epub 2020 Dec 8. PMID: 33289900; PMCID: PMC7721859.
5. Bakhrushin V. Risks of Data Inconsistency in Information Systems Used for Predicting the Pandemics Development / Bakhrushin V., Bakurova A., Pasichnyk M, Tereschenko E. // 1st International Workshop on Computational & Information Technologies for Risk-Informed Systems (CITRisk 2020) co-located with XX International scientific and technical conference on Information Technologies in Education and Management (ITEM 2020). Kherson, Ukraine, October 15-16, 2020. - Kherson National Technical University: 2020. – Vol-2805. – P. 1-15 . URL: <http://ceur-ws.org/Vol-2805/invited1.pdf>.
6. Eysenbach G. Infodemiology and Infoveillance: Framework for an Emerging Set of Public Health Informatics Methods to Analyze Search, Communication and Publication Behavior on the Internet. J Med Internet Res 2009;11(1):e11. DOI: 10.2196/jmir.1157. PMID: 19329408. PMCID: PMC2762766.
7. Eysenbach G. Infodemiology and infoveillance tracking online health information and cyberbehavior for public health. Am J Prev Med. 2011 May;40(5 Suppl 2):S154-8. doi: 10.1016/j.amepre.2011.02.006. PMID: 21521589.
8. Shyam J. Kurian, Atiq ur Rehman Bhatti, Mohammed Ali Alvi, Henry H. Ting, Curtis Storlie, Patrick M. Wilson, Nilay D. Shah, Hongfang Liu, Mohamad Bydon.

Correlations Between COVID-19 Cases and Google Trends Data in the United States: A State-by-State Analysis, Mayo Clinic Proceedings, V. 95, Is. 11, 2020. P. 2370-2381, ISSN 0025-6196, <https://doi.org/10.1016/j.mayocp.2020.08.022>.

9. Li Cuilian, Chen Li Jia, Chen Xueyu, Zhang Mingzhi, Pang Chi Pui, Chen Haoyu. Retrospective analysis of the possibility of predicting the COVID-19 outbreak from Internet searches and social media data, China, 2020. Euro Surveill. 2020;25(10):pii=2000199. <https://doi.org/10.2807/1560-7917.ES.2020.25.10.2000199>.

10. Walker, A, Hopkins, C, Surda, P. The use of Google Trends to investigate the loss-of-smell-related searches during COVID-19 outbreak. Int Forum Allergy Rhinol. 2020; 10: 839– 847. URL:

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/alr.22580>.

11. Mavragani A/ Tracking COVID-19 in Europe: Infodemiology Approach. JMIR Public Health Surveill 2020;6(2):e18941. URL:

<https://publichealth.jmir.org/2020/2/e18941>. DOI: 10.2196/18941.

12. Ayyoubzadeh S, Ayyoubzadeh S, Zahedi H, Ahmadi M, R Niakan Kalhori S. Predicting COVID-19 Incidence Through Analysis of Google Trends Data in Iran: Data Mining and Deep Learning Pilot Study. JMIR Public Health Surveill 2020;6(2):e18828. URL: <https://publichealth.jmir.org/2020/2/e18828>. DOI: 10.2196/18828.

13. Mavragani, A., Gkillas, K. COVID-19 predictability in the United States using Google Trends time series. Sci Rep 10, 20693 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-77275-9>.

14. Tracking covid-19 excess deaths across countries. The Economist (27.02.2021).

URL: [https://www.economist.com/graphic-detail/coronavirus-excess-deaths-tracker?fbclid=IwAR2WV9O-](https://www.economist.com/graphic-detail/coronavirus-excess-deaths-tracker?fbclid=IwAR2WV9O-WpDel4laHKzC3ELnVMoI1RAzlQlaWi9_9FQ_4XHZ6s6MGdgy0gM)

[WpDel4laHKzC3ELnVMoI1RAzlQlaWi9_9FQ_4XHZ6s6MGdgy0gM](https://www.economist.com/graphic-detail/coronavirus-excess-deaths-tracker?fbclid=IwAR2WV9O-WpDel4laHKzC3ELnVMoI1RAzlQlaWi9_9FQ_4XHZ6s6MGdgy0gM).

Received 12.04.2021.

Accepted 15.04.2021.

Системный подход к анализу данных по развитию и прогнозированию пандемии

Проанализированы данные по развитию пандемии коронавирусной инфекции в Украине и мире. Предложен системный подход, предусматривающий привлечение к анализу динамики заболеваемости и смертности вместе с официальной статистикой Минздрава данных других государственных реестров, модельных оценок, результатов поисковых запросов и другой открытой информации.

System approach to data analysis of pandemic development and forecasting

The Covid-19 pandemic is one of the greatest challenges to humanity of last decades. Effective prevention of its development is the problem of decision-making with many criteria, high uncertainty of the results of a choice, insufficiently understood feedbacks. There has been collected statistics on the main indicators of the pandemic over the past year. However, according to most researchers, the initial data on the number of infected and fatal cases are significantly

underestimated. This makes inaccurate other important indicators, in particular, those that characterize the nature of the dynamics, the rate of infection and its mortality. At the same time, a large number of research results provide additional sources of information to improve the quality of pandemic analysis and forecasts. Mathematical models infections spreading have been significantly developed, which make it possible to refine individual indicators.

According to model estimates, the maximum number of daily cases can be 50 times higher than the official data, and the dates of maxima can be up to 4-5 weeks earlier. For Ukraine, the highest values of "excess mortality" (as a percentage of the average level in 2015 - 2016) were observed in September (15.8%), October (20.3%), November (33.7%) and December (29.2%). In January 2021, according to incomplete preliminary data it is expected the significant reducing of the indicator to the value less than 2%. Per 100 thousand inhabitants, the "excess mortality" in 2020 was about 38.8 thousands (in the first 5 months there were negative values of the indicator), and for the period from June 2020 to January 2021 - about 53.5 thousands, or 14.1% of the base level for this period. An analysis of Google's search queries gives grounds to assume that in early January 2020, the pandemic spread in many countries on different continents, and precautionary measures were taken too late.

The obtained data show that the involvement of additional sources of information makes it possible to compensate for the imperfections of official operational data and to understand better the patterns of occurrence and development of Covid-19 pandemic. At the same time, a system approach to decision-making on prevention the development of a pandemic should take into account the information on morbidity and mortality statistics as well as other information, in particular on virus mutations, re-infection, vaccination, testing, socio-economic consequences etc. This should be the subject of further research.

Бахрушин Володимир Євгенович – професор, доктор фізико-математичних наук, професор кафедри системного аналізу та обчислювальної математики Національного університету «Запорізька політехніка».

Бахрушин Владимир Евгеньевич - профессор, доктор физико-математических наук, профессор кафедры системного анализа и вычислительной математики Национального университета «Запорожская политехника».

Volodymyr Bakhrushyn – professor, D.Sc. (Phys. & Math.), professor of the System Analysis and Calculative Mathematics department of the Zaporizhzhia Polytecnic National University.

Я.М. Кусий, А.М. Кук

ТЕХНОЛОГІЧНЕ УСПАДКОВУВАННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВИРОБУ НА СТАДІЇ СТВОРЕННЯ ЙОГО ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ

Анотація. Відзначено безпосередній зв'язок технологічного забезпечення регламентованих параметрів якості виробів із етапами та стадіями їх життєвих циклів. На основі аналізу літературних джерел визначено пріоритетність інформаційного забезпечення сучасного машинобудівного виробництва в умовах самоорганізації технічних систем при проектуванні технологічних процесів виготовлення деталей машин. Розроблено принципову схему формування параметрів якості виробів із врахуванням усіх етапів стадії створення його життєвого циклу та запропоновано вираз для прогнозування імовірності невідбракування $P(t)$ придатних до подальшої експлуатації виробів із врахуванням технологічного успадковування.

Ключові слова: якість, життєвий цикл виробу, технологічний процес, технологічне середовище, технологічне успадковування, гомогенність, пошкоджуваність, заготовка

Постановка проблеми. Для сучасної машинобудівної галузі ускладнення умов експлуатації (зростання питомих контактних навантажень, температур тощо) деталей зокрема і машин загалом при зниженні їх жорсткості (зменшення габаритних розмірів і маси) спричинює підвищення вимог до точності їх функціонування, ефективності роботи (силові характеристики, економічні показники ККД тощо) і прогнозування поведінки у визначений період відповідно до життєвих циклів виробів [1-4].

Технологічне забезпечення регламентованих технічними вимогами параметрів точності, якості поверхневих шарів деталей машин, їх експлуатаційних характеристик і показників надійності пов'язане з етапами та стадіями життєвих циклів виробів: конструкторсько-технологічною підготовкою виробництва (раціональний вибір конструктивних схем і матеріалів, обґрунтовані розрахунки із врахуванням усіх впливів під час експлуатації деталей і машин; оптимізація режимів оброблення на сучасних металорізальних верстатах із застосуванням прогресивного інструменту), етапом виготовлення (ретельний контроль матеріалів і комплектуючих; високий рівень організації та контролю ТП виготовлення деталей і складання машин;

належні випробування окремих елементів, вузлів і агрегатів тощо). Усунення технологічних дефектів при обкатці та припрацюванні, чітка організація системи технічного обслуговування та ремонтів зводять до мінімуму відмови на стадії експлуатації виробів [5, 6].

Незважаючи на різноманіття конструкцій машин, їх технічних характеристик, забезпечення експлуатаційних характеристик і показників надійності виробів технологічними методами покликане вирішувати важливі проблеми [2]: аналіз, оцінку та прогнозування експлуатаційних характеристик і показників надійності виробів на етапах конструкторсько-технологічної підготовки (апріорні методи); експериментальну оцінку проектного рівня експлуатаційних характеристик і показників надійності за результатами випробувань на кінцевому етапі стадії виробництва або початкових етапах стадії експлуатації (апостеріорні методи); впровадження заходів стосовно досягнення і забезпечення експлуатаційних характеристик і показників надійності виробів шляхом оптимізації структури експлуатації деталей і машин (оптимізаційні задачі).

Прогностичний характер зв'язків між функціональними властивостями виробу та технологією їх забезпечення потребує ґрунтовних теоретико-експериментальних досліджень на сучасному етапі розвитку технології машинобудування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У той же час раціональне керування технологічним успадкуванням властивостей матеріалу виробу для забезпечення його експлуатаційних характеристик в умовах самоорганізації структур служить методологічною основою проектування прогресивних технологічних процесів виготовлення деталей і складання машин [3, 4].

Упорядкування стану системи пов'язано із узгодженою поведінкою підсистем, що формують єдине ціле із новими властивостями і математичним описом взаємозв'язків елементів, причому сама система є підсистемою системи вищого порядку [7]. При виготовленні машинобудівного виробу етапи конструкторської підготовки виробництва (КПВ), технологічної підготовки виробництва (ТПВ) і етап виготовлення служать підсистемами стадії його створення, що разом із стадією експлуатації формують життєвий цикл визначеної машинобудівного продукту.

Загальні закони еволюції технічних систем формуються на підставі системного функціонально-морфологічно-інформаційного аналізу за допомогою

дослідження взаємозв'язків і взаємовпливів функціонального, морфологічного та інформаційного опису [7, 8].

Функціональні процеси у системі тісно пов'язані з інформаційними. Джерелом інформації для функціонування системи є внутрішній ресурс і середовище, а носієм – речовина та енергія. Внутрішня енергія визначає розвиток, цілі та діяльність системи [7, 8].

З позиції адитивності інформації I для множини R_0 N незалежних прогнозованих реалізацій системи $R_0 \in [R_{01}; R_{0N}]$ залежність [8]:

$$I\left(\prod_{i=1}^N R_{0i}\right) = I(R_{01}) + \dots + I(R_{0N}), \quad (1)$$

матиме єдиний розв'язок у вигляді [8]:

$$I = K \ln(R_0), \quad (2)$$

де $K = \log_b(e)$ – стала величина; індекс b характеризує індивідуальні особливості підсистем [8]; при вираженні інформації в бітах $b=2$ [7].

Інформація на один символ i служить кількісним показником при еволюції інформаційних потоків [7]:

$$i = -K \sum_{j=1}^k p_j \cdot \ln(p_j), \quad (3)$$

де p_j – імовірність j -того стану системи із k можливих.

Сумарна інформація, що описує еволюцію системи за умови безпосереднього взаємозв'язку між невизначеністю стану об'єкта та його фізичними властивостями представлена залежністю [8]:

$$I = -k \cdot \sum_{j=1}^k p_i \cdot \log_b(p_i), \quad (4)$$

Взаємозв'язки між причинами та діями у системі описуються рівняннями виду $\dot{q} = F_0(q(t); t)$ [9]:

$$\dot{q} = -\gamma \cdot q + F(t), \quad (5)$$

де q – параметр, що описує дію; γ – функція затухання; $F(t)$ – функція, що визначає зовнішній силовий вплив.

Розв'язок (5) представляє собою відклик системи на прикладене зусилля $F(\tau)$ [9]:

$$q = \int_0^t e^{-\gamma(t-\tau)} F(\tau) d\tau, \quad (6)$$

Значення q у визначений момент часу t залежить, крім впливів у даний момент часу, також і від успадковування подій у попередні моменти часу [8, 9].

Для множини підсистем q_μ , елементи яких пов'язані коефіцієнтами впливу із зовнішніми силами F_n , представимо рівняння (5) у матричній формі [9]:

$$\dot{q}_\mu = Aq_\mu + B(F)q_\mu + C(F), \quad (7)$$

де A, B – незалежні від q_μ матриці.

При ототожненні для умов самоорганізації зовнішніх сил із частинами власне системи ($F \rightarrow q_1, q \rightarrow q_2$), отримаємо дві підсистеми [8, 9]:

$$\dot{q}_1 = -\gamma_1 \cdot q_1 - a \cdot q_1 \cdot q_2, \quad (8)$$

$$\dot{q}_2 = -\gamma_2 \cdot q_2 + b \cdot q_1^2. \quad (9)$$

За наявності адіабатичного наближення [8]:

$$\gamma_2 \geq \gamma_1 \quad (10)$$

при $\dot{q}_2 = 0$ отримаємо розв'язок [9]:

$$q_2(t) \approx \gamma_2^{-1} \cdot b \cdot q_1^2(t) \quad (11)$$

Після підстановки (11) у (8), отримаємо:

$$\dot{q}_1 = -\gamma_1 \cdot q_1 - \frac{a \cdot b}{\gamma_2} \cdot q_1^3, \quad (12)$$

Розв'язки рівняння (12) при $\gamma_1 > 0$ і $\gamma_1 < 0$ є різними [8, 9]:

- при $\gamma_1 > 0$ і $\frac{a \cdot b}{\gamma_2} > 0$ отримуємо стійкий розв'язок $q_1 = 0$;

- при $\gamma_1 < 0$ і $\frac{a \cdot b}{\gamma_2} > 0$ отримуємо нестійкий розв'язок $q_1 = 0$ і два стійких

розв'язки $\pm \sqrt{\gamma_1 / \left(\frac{a \cdot b}{\gamma_2} \right)}$, причому згідно (11) $q_2 \neq 0$

У даному випадку проявляються два основних синергетичних поняття: замість великого числа змінних для різних q достатньо розглянути лише одне рівняння для q_1 , а потім згідно принципу підпорядкування виразити q через q_1 . У такому випадку q_1 виступають модами (параметрами порядку) системи, які визначають ступінь її впорядкованості та підпорядковують собі інші підсистеми [8].

Встановлено [7-9], що частина підсистем $q_j = q^{(var)} \in (j=1.....m)$ відповідає нестійким модам, а інша – $q_j = q^{(s)} \in (j=m+1.....k)$ – підпорядковується стійким.

При переведенні систем внаслідок самоорганізації у стан $q^{(s)}$ вплив флуктуацій та оптимізаційних критеріїв приводить до їх еволюції, причому величина флуктуації параметра порядку має вирішальне значення на характер функціонування систем [9].

В самоорганізованих системах керування її адаптивністю та надійністю забезпечується умовами формування та величинами флуктуацій за рахунок зміни кількості підсистем [7, 8]. При адитивності величини повного виходу для підпорядкованим стійким модам інформаційних підсистем отримаємо [9]:

$$q^{(s)} = q_d^{(s)} + q_r^{(s)}, \quad (13)$$

де $q_d^{(s)}$, $q_r^{(s)}$ – відповідно чітко визначений детермінований і флуктуючий (з розсіяними характеристиками) входи.

Загальна величина виходу [9]:

$$q_{\Sigma} = \sum_s q^{(s)} = \sum_{j=m+1}^k q_j, \quad (14)$$

Відповідно до граничної центральної теореми для взаємно незалежних випадкових змінних залежності для середнього значення $E(q_{\Sigma})$ і дисперсії $\sigma^2(q_{\Sigma})$ мають вигляд [9]:

$$E(q_{\Sigma}) = s \cdot M, \quad (15)$$

$$\sigma^2(q_{\Sigma}) = s \cdot \sigma^2, \quad (16)$$

де $M = \frac{1}{k - (m + 1)} q_{\Sigma}.$

Центральна гранична теорема розподілу імовірності нової випадкової змінної Y_s для граничного випадку $s \rightarrow \infty$ [9]:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P(a < Y_s \leq b) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_a^b e^{-\xi^2/2} d\xi, \quad (17)$$

де $Y_s = \frac{q_{\Sigma} - s \cdot M}{\sigma \cdot \sqrt{s}}.$

При $a=x$ і $b=x+dx$ в наближенні отримаємо [9]:

$$P(x_1 \sigma \sqrt{s} < (q_{\Sigma} - s \cdot M < x_2 \sigma \sqrt{s}) \approx \Phi(x_2) - \Phi(x_1), \quad (18)$$

де

$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\xi^2/2} d\xi. \quad (19)$$

Повний вихід системи (14) збільшується пропорційно числу підсистем s або реалізуючих їх характеристик і критеріїв, флуктуації зростають лише як \sqrt{s} (в реальних процесах пригнічення розсіювання характеристик відбувається ще інтенсивніше). Поблизу точки виникнення нестійкості за рахунок істотної відмінності стійкі моди підлаштовуються під нестійкі і можуть бути виключені, що приводить до упорядкування системи за рахунок значного зменшення ступенів вільності [9].

Встановлено [7-9], що перетворення підведеної ззовні до системи енергії на мікроскопічному рівні внаслідок еволюції забезпечує впорядкованість на макроскопічному рівні.

Згідно синергетичного підходу технологічне забезпечення вихідних параметрів виробів відповідно до необхідних експлуатаційних характеристик і показників надійності реалізується обмеженою кількістю раціональних варіантів взаємодій виробу із технологічним середовищем при необхідній кількості стійких зв'язків в інформаційно-технологічній системі підготовки виробництва виробів на етапах і стадіях його життєвого циклу [10, 11].

Мета дослідження. Метою даного дослідження є розроблення принципової схеми формування параметрів якості виробу із прогнозуванням ймовірності невідбракування на стадії створення його життєвого циклу із врахуванням технологічного успадковування властивостей.

Викладення основного матеріалу дослідження. Врахування взаємовпливів всіх технологічних факторів і взаємозв'язків між ними відповідно до регламентованих вимог якості деталі у складі машини забезпечується узгодженням конструкторських і технологічних напрацювань на стадії створення виробу як частини його життєвого циклу. На етапах конструкторської, технологічної підготовки виробництва та етапі виготовлення стадії створення виробу відбувається формування його вихідних параметрів з позиції технологічного успадковування властивостей [3, 4].

Якість деталі, нормована відповідними показниками, формується як загальний результат формоутворення заготовки, технологічного процесу її механічного оброблення у взаємозв'язках із технологічним середовищем (системою верстат-пристрій-інструмент-заготовка), методами контролю тощо [2, 6].

Роль технології у формуванні параметрів якості виробів є визначальною. Встановлено, що при оптимальних режимах обробки суттєво підвищується довговічність виробів, в той час як нераціональні режими і неврахування явища накопичення дефектів на попередніх операціях, зокрема і на заготівельних, можуть спричинити руйнування поверхневого шару вже на етапі виготовлення або передчасне руйнування деталей при їх експлуатації [1-4].

Принципова схема формування параметрів якості виробу під час реалізації технологічного процесу його виготовлення складається з послідовних операцій – від заготівельної (0) до кінцевої (n) (рис. 1) [1, 2, 12]. На підставі множини вихідних параметрів реалізації технологічного процесу ви-

готовлення виробу X_1, X_2, \dots, X_m на етапах конструкторської та технологічної підготовок виробництва формується множина відправних значень $Y_{01}, Y_{02}, \dots, Y_{0j}$ технологічного процесу виготовлення (рис. 1). Кожна i -та технологічна операція внаслідок послідовного формоутворення заготовки як результату взаємодії із технологічним середовищем характеризується своїми вихідними параметрами ($X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{iq}$) [2].

У роботах [1, 2] вводиться термін «імовірності безвідмовності технологічного процесу» на i -тій технологічній операції $P_i(t)$, для визначення якої проф. О.С. Проніков рекомендує застосовувати загальні методи теорії надійності для кожної операції технологічного ланцюжка відправна заготовка-готова деталь. Зокрема, імовірність $P_0(t)$ характеризує імовірність безвідмовності технологічного процесу на заготівельній технологічній операції, $P_1(t)$ – на першій операції ТП, $P_n(t)$ – на n -ій операції ТП тощо [1, 2].

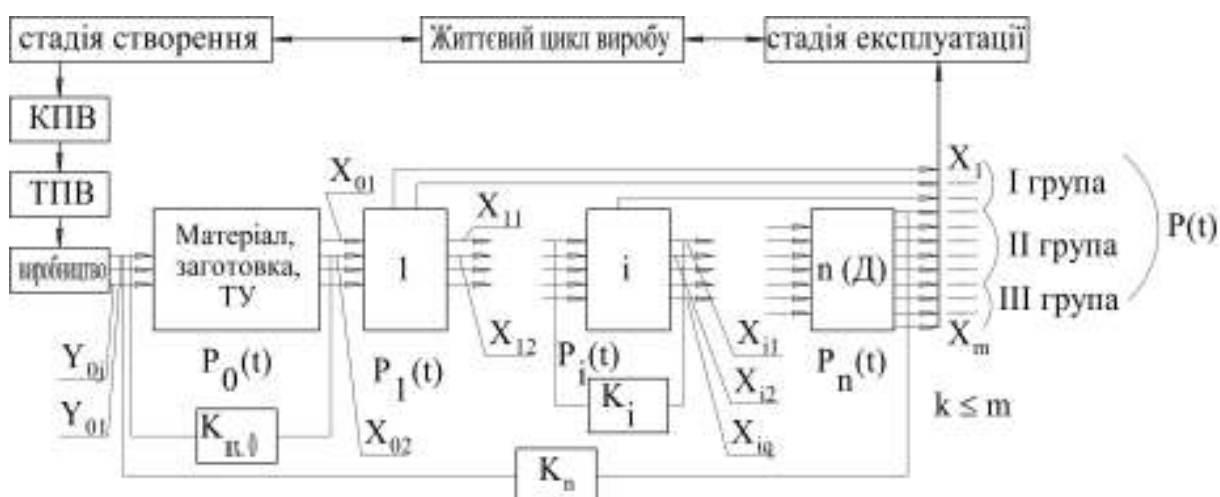


Рисунок 1 - Принципова схема формування параметрів якості виробу під час реалізації технологічного процесу його виготовлення

У той же час технологічне забезпечення «імовірності безвідмовності технологічного процесу» на i -тій технологічній операції $P_i(t)$ зокрема і технологічного процесу $P(t)$ загалом є важко реалізованим вже на етапі забезпечення експлуатаційних характеристик виробу по таких причинах [2]: складність та імовірнісна природа залежностей параметрів ТП і експлуатаційних характеристик, які визначають показники надійності; залежність експлуатаційних характеристик виробу від режимів і умов роботи машини, як правило, невідомих технологу; неможливість врахування усіх

параметрів виробу, що мають вагомий вплив на формування експлуатаційних характеристик через складність фізичних явищ при реалізації ТП.

Кожний технологічний процес супроводжується залишковими та побічними явищами, які впливають на експлуатаційні характеристик та показники надійності [5, 6].

Із проведеного аналізу випливає важливість ґрунтовного дослідження технологічного успадковування параметрів якості для забезпечення експлуатаційних характеристик і пов'язаних з ними показників надійності деталей і машин для визначення рівня відповідності їх поточних технічних характеристик відправним значенням з метою попередження технологічних пошкоджень та відмов. Тому параметр $P_i^{TP}(t)$ інтерпретуватимемо як імовірність невідбракування придатних до подальшої експлуатації виробів на i -тій операції технологічного процесу, що визначається впливом технологічного середовища (рис. 1). Зокрема, імовірність $P_1^{TP}(t)$ характеризує невідбракування придатних до подальшої експлуатації виробів на першій технологічній операції, а $P_n^{TP}(t)$ – на n -ій операції ТП тощо.

Формування вихідних параметрів відбувається в результаті послідовного оброблення заготовки, що забезпечується принципами технологічного успадковування [3, 4]. Для кожної операції, як правило, призначені свої нормативні показники, які мають бути забезпечені в результаті виконання технологічних переходів даної технологічної операції при виготовленні кінцевого виробу.

Тому загальна імовірність $P(t)$ – імовірність невідбракування готової деталі, що визначається неперевищенням будь-яким з технологічних параметрів границь допуску протягом усього технологічного процесу виготовлення виробу – формується на основі особливостей груп показників вихідних параметрів ТП [2, 12]:

1. Незначна частина вихідних параметрів проміжних операцій (зокрема характеристику матеріалу) переходять у розряд кінцевих (параметри I групи, рис. 1).

2. Фінішні та викінчувальні технологічні операції забезпечують формування регламентованих ТУ параметрів точності оброблення та якості поверхні (параметри II групи, рис. 1).

3. Відповідно до технологічного успадковування властивостей частина вихідних параметрів (III група, рис. 1) функціонально пов'язана з параметрами попередніх проміжних операцій.

4. Характеристики матеріалу, заготовки при неналежному вхідному контролі або його відсутності впливають на формування кінцевих параметрів виробу.

5. Контрольні операції (K , рис. 1) служать для своєчасного виявлення та недопущення браку на різних стадіях ТП.

Ефективність вихідного контролю характеризується імовірністю коректного вимірювання контрольованого параметра згідно ТУ P^k . Зважаючи на небезмежні можливості контрольних операцій у визначеному ТП виготовлення виробу, необхідно мінімізувати їх кількість з огляду на додаткові матеріальні витрати [1, 2].

Імовірність невідбракування виробу на i -тій технологічній операції $P_i(t)$ визначають за формулою [2]:

$$P_i(t) = \prod_1^{q_i} [1 - (1 - P_X(t)) \cdot (1 - P_X^k(t))], \quad (20)$$

де q_i – число вихідних параметрів для i -тої технологічної операції; P_X – імовірність забезпечення X -го параметра у межах допуску; P_X^k – імовірність коректного вимірювання контрольованого параметра X .

Із врахуванням визначеності j -го параметра для i -тої технологічної операції формула (20) матиме вигляд:

$$P_i(t) = \prod_{j=1}^{q_i} [1 - (1 - P_{X_{ij}}^{TP}(t)) \cdot (1 - P_{X_{ij}}^k(t))]. \quad (21)$$

де X_{ij} ($j \in [1; q_i]$) – визначений j -ий вихідний параметр X для i -тої технологічної операції.

Для технологічного процесу загалом із врахуванням незалежного впливу імовірності невідбракування виробів $P_0(t)$ на заготівельній технологічній операції та при незалежному формуванні кожного вихідного параметра імовірність невідбракування деталі $P(t)$ при реалізації технологічного процесу її виготовлення визначається за формулою:

$$P(t) = P_0(t) \cdot \prod_{i=1}^n P_i(t) = P_0 \cdot \prod_{i=1}^n \prod_{j=1}^{q_i} [1 - (1 - P_{X_{ij}}^{TP}(t)) \cdot (1 - P_{X_{ij}}^k(t))]. \quad (22)$$

Вихідні параметри після останньої технологічної операції: $X_{nj} = X_j (j \in [1; m])$.

Множина вихідних параметрів q_i для i -тої технологічної операції формує множину вхідних параметрів для $(i+1)$ операції, однак лише частина із них входить до множини параметрів I групи вихідних параметрів кінцевого виробу: $q_{oi} < q_i$ [1, 2].

Тоді сумарна кількість вихідних параметрів [1, 2]:

$$m = q_n + \sum_{i=1}^{n-1} q_{oi} . \quad (23)$$

де q_n – число вихідних параметрів, отриманих на останній операції; q_{oi} – число вихідних параметрів для i -тої технологічної операції, які формують вихідні параметри I групи.

Із врахуванням (23) формула (22) матиме загальний вигляд для прогнозування невідбракування деталі для множини m відправних параметрів:

$$P(t) = P_0(t) \cdot \prod_{i=1}^n P_i(t) = P_0 \cdot \prod_{i=1}^n \prod_{j=1}^m \left[1 - \left(1 - P_{X_{ij}}^{TP}(t) \right) \cdot \left(1 - P_{X_{ij}}^k(t) \right) \right]. \quad (24)$$

У машинобудівному виробництві формування вихідних технологічних параметрів здійснюється в умовах сукупності взаємовпливів та функціональних зв'язків виробу із технологічним середовищем. Однак із їх врахуванням залежність (24) суттєво ускладнюватиметься із збільшенням кількості операцій у ТП виготовлення виробу.

Для неконтрольованих X_{ij} параметрів на i -тій технологічній операції $P_{X_{ij}}^k(t) = 0$, і ймовірність його забезпечення повністю визначається сукупністю реалізованих взаємозв'язків системи ВПІЗ. Для абсолютно надійного контролю $P_{X_{ij}}^k(t) = 1$ (добуток перетворюється у нуль для j -того параметра на даній операції), що виключає можливість виготовлення деталі на i -тій операції з недопустимим значенням j -того параметра.

Математична залежність (24) дозволяє прогнозувати невідбракування деталі відповідно до раціональної структури технологічного процесу її виготовлення на етапі виробництва стадії створення життєвого циклу виробу.

На етапі конструкторської підготовки виробництва при використанні сучасних CAD систем розробляються, аналізуються, досліджуються деталі, складальні одиниці та машини відповідно до експлуатаційних вимог. Імовірність відбракування виробу за j -им вихідним параметром на i -тій технологічній операції за результатами конструкторської підготовки виробництва буде враховуватися складником:

$$F_{X_{ij}}^{KIII}(t) = \left(1 - P_{X_{ij}}^{KIII}(t) \right). \quad (25)$$

На етапі технологічної підготовки виробництва при комп'ютерному моделюванні об'єктно-орієнтованих технологічних процесів отримують математичні залежності, що прогнозують формування формалізованих показників якості виробів. Поряд з тим при імітаційному реологічному моделюванні напружено-деформованого та термодинамічного стану виробу в

процесі його формоутворення прогнозують формування відправних параметрів виробів із забезпеченням їх експлуатаційних характеристик і дотримання вимог стосовно точності оброблення та параметрів якості їх функціональних поверхонь. Імовірність відбракування виробу за j -им вихідним параметром на i -тій технологічній операції за результатами технологічної підготовки виробництва буде враховуватися складником:

$$F_{X_{ij}}^{ТПВ}(t) = (1 - P_{X_{ij}}^{ТПВ}(t)). \quad (26)$$

Вплив розроблених на етапі КПВ конструктивних рішень і проектних розрахунків, розроблених на етапі ТПВ математичних моделей на формування вихідних параметрів врахуємо через імовірність технологічного забезпечення j -го вихідного параметра виробу на i -тій технологічній операції $P_{X_{ij}}^{ТПП}(t)$, що відобразиться у формулі:

$$\begin{aligned} P(t) &= P_0(t) \cdot \prod_{i=1}^n P_i(t) = \\ &= P_0 \cdot \prod_{i=1}^n \prod_{j=1}^m [1 - (1 - P_{X_{ij}}^{КПП}(t))(1 - P_{X_{ij}}^{ТПВ}(t))(1 - P_{X_{ij}}^{ТП}(t))(1 - P_{X_{ij}}^k(t))] \end{aligned} \quad (27)$$

Математична залежність (27) дозволяє прогнозувати імовірність невідбракування виробу $P(t)$ при реалізації технологічного процесу його виготовлення за умови незалежного формування кожного вихідного параметру деталі на стадії створення виробу.

Залежно від конструктивних особливостей, регламентованих технічних вимог до точності оброблення та якості поверхневих шарів виробів, їх експлуатаційних характеристик формуються умови абсолютно надійного забезпечення елемента (елементів) множини $P_{X_{ij}}^Z \in [P_{X_{ij}}^{КПП}; P_{X_{ij}}^{ТПВ}; P_{X_{ij}}^{ТП}; P_{X_{ij}}^k]$, що визначає імовірність невідбракування заготовки/деталі за j -тим параметром на i -тій технологічній операції.

При дослідженні фізичних процесів при виготовленні виробів на субмікроскопічному рівні для визначення складових формули (27) потрібно враховувати закон сумування пошкоджуваності протягом етапів і стадій життєвого циклу виробу [12-14]:

$$D = \sum D_j, \quad -- \quad (28)$$

де D (damageability) – сумарна пошкоджуваність виробу; D_j – пошкоджуваність для j -ого часового інтервалу життєвого циклу виробу.

Для аналізу процесів зародження та формування дефектів на стадії створення виробу запропоновано параметр технологічної пошкоджуваності

D [3, 4, 12], який обчислюють за формулою:

$$D = 1 - \frac{m_x}{m_{matr.}}, \quad (29)$$

де m_x – значення коефіцієнта Вейбулла для x -ого перерізу серії вимірювань;
 $m_{matr.}$ – значення коефіцієнта Вейбулла для основного матеріалу.

Коефіцієнт гомогенності Вейбулла визначають за формулою [15]:

$$m = \frac{d(n)}{2,30259 \cdot S(\lg(H))}, \quad (30)$$

де $d(n)$ – параметр, що залежить від кількості вимірювань n

$$S(\lg(H)) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (\lg(H_i) - \overline{\lg(H)})^2}, \quad (31)$$

$$\overline{\lg(H)} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \lg(H_i). \quad (32)$$

Висновки. Розроблено структурну схему формування параметрів якості виробу із врахуванням усіх етапів стадії створення його життєвого циклу. Запропоновано математичну залежність для прогнозування імовірності невідбракування придатних до подальшої експлуатації машинобудівних виробів $P(t)$ із врахуванням конструктивних рішень, проектних розрахунків, математичних моделей, структури та параметрів технологічного процесу із врахуванням технологічного успадковування властивостей. Подальші дослідження у цьому напрямку пов'язані з оптимізацією конструктивно-технологічних рішень і структури технологічних процесів із врахуванням технологічної спадковості при раціональному поєднанні заготівельних, проміжних, фінішних і викінчувально-зміцнювальних операцій.

ЛІТЕРАТУРА / LITERATURE

1. Проников А.С. Надежность машин / А.С. Проников. – М. : Машиностроение, 1978. – 592 с.
2. Проников А.С. Параметрическая надежность машин / А.С. Проников. – М. : Изд.-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 560 с.
3. Kusiya Ya.M. Investigation of the technological damageability of castings at the stage of design and technological preparation of the machine Life Cycle / Ya.M. Kusiya, A.M. Kuk // Journal of Physics: Conference Series. – 2020. – Volume 1426. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1426/1/012034/pdf>. doi:10.1088/1742-6596/1426/1/012034.

4. Kusi Ya., Stupnytsky V. Optimization of the Technological Process Based on Analysis of Technological Damageability of Casting / Ya. Kusi, V. Stupnytsky // Advances in Design, Simulation and Manufacturing III. Proceedings of the 3rd International Conference on Design, Simulation, Manufacturing: The Innovation Exchange, DSMIE-2020, June 9-12, 2020, Kharkiv, Ukraine. – 2020. – Volume 1: Manufacturing and Materials Engineering. – P. 276-284.
5. Болотин В.В. Прогнозирование ресурса машин и конструкций / В.В. Болотин. – М.: Машиностроение, 1984. – 312 с.
6. Болотин В.В. Ресурс машин и конструкций / В.В. Болотин. – М.: Машиностроение, 1990. – 448 с.
7. Haken H., Portugali J. Information Adaptation: The Interplay Between Shannon Information and Semantic Information in Cognition / H. Haken, J. Portugali. – Berlin: Springer, 2015. – 90 p.
8. Haken H. Information and Self-Organization. A Macroscopic Approach to Complex Systems: Third Enlarged Edition / H. Haken. – Berlin: Springer, 2006. – 258 p.
9. Хакен Г.: Синергетика / Г. Хакен. – М.: Мир, 1980. – 400 с.
10. Problem of technological inheritance in machine engineering / V. Blumenstein, K. Rakhimyanov, M. Heifetz [and others] // AIP Conference Proceedings. – 2016. – Vol. 1698 (1). – P. 2-7.
11. Kheifetz M.L., Vasilyev A.S., Klimenko S.A. Technological Control of the Heredity of Operational Quality Parameters for Machine Parts / M.L. Kheifetz, A.S. Vasilyev, S.A. Klimenko // Advanced Materials & Technologies. – 2019. – Vol. 2 (14). – P. 8-18.
12. Кусий Я. М. Технологічне успадковування властивостей при забезпеченні параметрів якості виробу в процесі його виготовлення / Я. М. Кусий // Системні технології. – 2019. – Т.5 № 124. – С. 171-184.
13. Xue L. Constitutive modeling of void shearing effect in ductile fracture of porous materials / L. Xue // Engineering Fracture Mechanics. – Volume 75 (11). – 2008. – P. 3343–3366.
14. Lian J. A hybrid approach for modelling of plasticity and failure behaviour of advanced high-strength steel sheets / J. Lian, M. Sharaf, F. Archie., S Mu'nstermann // International Journal of Damage Mechanics. Vol. 22 (2). – 2008. – P. 188–218.
15. Lebedev A.A., Muzyka N.R., Volchek N.L. A new method of assesment of material degradation during its operating time / A.A. Lebedev, N.R. Muzyka, N.L. Volchek // Zaliznychnyi Transport Ukrainy. – Vol. 5. – 2003. – P. 30–33.

REFERENCES

1. Pronikov A. S. Machines reliability / A.S. Pronikov. – Moscow: Mechanical engi-

neering, 1978. – 592 p. (in Russian)

2. Pronikov A. S. Parametric reliability of machines / A.S. Pronikov. – Moscow: Bauman Moscow State Technical University Publishing House, 2002. – 560 p. (in Russian)

3. Kusiya Ya.M. Investigation of the technological damageability of castings at the stage of design and technological preparation of the machine Life Cycle / Ya.M. Kusiya, A.M. Kuk // Journal of Physics: Conference Series. – 2020. – Volume 1426. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1426/1/012034/pdf>.
doi:10.1088/1742-6596/1426/1/012034.

4. Kusiya Ya., Stupnytskyy V. Optimization of the Technological Process Based on Analysis of Technological Damageability of Casting / Ya. Kusiya, V. Stupnytskyy // Advances in Design, Simulation and Manufacturing III. Proceedings of the 3rd International Conference on Design, Simulation, Manufacturing: The Innovation Exchange, DSMIE-2020, June 9-12, 2020, Kharkiv, Ukraine. – 2020. – Volume 1: Manufacturing and Materials Engineering. – P. 276-284.

5. Bolotin V.V. Prediction of machines and structures resource / V.V. Bolotin. – Moscow: Mechanical engineering, 1984. – 312 p. (in Russian)

6. Bolotin V.V. Resource of machines and structures / V.V. Bolotin. – Moscow: Mechanical engineering, 1990. – 448 p. (in Russian)

7. Haken H., Portugali J. Information Adaptation: The Interplay Between Shannon Information and Semantic Information in Cognition / H. Haken, J. Portugali. – Berlin: Springer, 2015. – 90 p.

8. Haken H. Information and Self-Organization. A Macroscopic Approach to Complex Systems: Third Enlarged Edition / H. Haken. – Berlin: Springer, 2006. – 258 p.

9. Haken H. Synergetics / H. Haken. – Moscow: World, 1980. – 400 p. (in Russian)

10. Problem of technological inheritance in machine engineering / V. Blumenstein, K. Rakhimyanov, M. Heifetz [and others] // AIP Conference Proceedings. – 2016. – Vol. 1698 (1). – P. 2-7.

11. Kheifetz M.L., Vasilyev A.S., Klimenko S.A. Technological Control of the Heredity of Operational Quality Parameters for Machine Parts / M.L. Kheifetz, A.S. Vasilyev, S.A. Klimenko // Advanced Materials & Technologies. – 2019. – Vol. 2 (14). – P. 8-18.

12. Kusiya Ya.M. Technological inheritability of properties for providing of quality parameters of part during its manufacturing / Ya.M. Kusiya // System technologies. – 2019. – Vol. 5 (124). – P. 171-184. (in Ukrainian)

13. Xue L. Constitutive modeling of void shearing effect in ductile fracture of porous materials / L. Xue // Engineering Fracture Mechanics. – Vol. 75 (11). – 2008. – P. 3343–3366.
14. Lian J. A hybrid approach for modelling of plasticity and failure behaviour of advanced high-strength steel sheets / J. Lian, M. Sharaf, F. Archie., S Mu'nstermann // International Journal of Damage Mechanics. Volume 22 (2). – 2008. – P. 188–218.
15. Lebedev A.A., Muzyka N.R., Volchek N.L. A new method of assesment of material degradation during its operating time / A.A. Lebedev, N.R. Muzyka, N.L. Volchek // Zaliznychnyi Transport Ukrainy. – Vol. 5. – 2003. – P. 30–33.

Received 13.04.2021.

Accepted 15.04.2021.

**Технологическое наследования свойств изделия
на стадии создания его жизненного цикла**

Проанализированы взаимосвязи технологического обеспечения регламентированных параметров качества изделий с этапами и стадиями их жизненных циклов. Показана приоритетность информационного обеспечения современного машиностроительного производства в условиях самоорганизации технических систем при проектировании технологических процессов изготовления деталей машин. Разработана принципиальная схема формирования параметров качества изделий с учетом всех этапов стадии создания его жизненного цикла и предложена математическая модель для прогнозирования вероятности отсутствия брака $P(t)$ пригодных к дальнейшей эксплуатации изделий с учетом технологического наследования. Дальнейшие исследования связаны с оптимизацией конструктивно-технологических решений и структуры технологических процессов с учетом технологической наследственности при рациональном сочетании заготовительных, промежуточных, финишных и отделочно-упрочняющих операций.

**Technological inheritability of product properties
at the development and production stage of its Life Cycle**

The relationships of technological providing of standart quality parameters of products with the substages and stages of their Life Cycles is analyzed. The prognostic nature of the relationships between the functional properties of the product and the technology of their providing requires thorough theoretical and experimental research for the modern mechanical manufacturing. The priority of information support of modern mechanical engineering production in the conditions of self-organization of technical systems at designing of technological processes of products manufacturing is noted. The general laws of evolution of technical systems are formed on the basis of system functional, morphological, informational analysis by studying the relationships and interactions of functional, morphological and informational description. The actuality of the study of the processes of damage accumulation and material degradation for the characteristic types of products destruction is argued. The expediency of a synergetic approach in the analysis of technical objects and technological systems is established. The goal of this research is to develop a principal scheme for the forma-

tion of quality parameters of part with predict of the probability of its failure in manufacturing, taking into account the technological inheritability of properties. The basic scheme of formation of products quality parameters taking into account all substages of development and production stage of its Life Cycle is developed. The mathematical model for predicting the probability of non-defect production $P(t)$ of products suitable for further operation, taking into account technological inheritability, is proposed. Further research is related to the optimization of design and technological solutions and the structure of technological processes, taking into account the technological inheritability with a rational combination of blanking, intermediate, finishing and final-strengthening operations.

Кусий Ярослав Маркіянович – к.т.н., доцент, докторант кафедри робототехніки та інтегрованих технологій машинобудування Національного університету «Львівська політехніка».

Кук Андрій Михайлович – к.т.н., доцент кафедри робототехніки та інтегрованих технологій машинобудування Національного університету «Львівська політехніка».

Кусый Ярослав Маркиянович – к.т.н., доцент, докторант кафедры робототехники и интегрированных технологий машиностроения Национального университета «Львовская политехника».

Кук Андрей Михайлович – к.т.н., доцент кафедры робототехники и интегрированных технологий машиностроения Национального университета «Львовская политехника».

Kusyi Yaroslav – PhD, associate professor, Doctoral Candidate of the Department of Robotics and Integrated Mechanical Engineering Technologies of Lviv Polytechnic National University (Ukraine).

Kuk Andrii – PhD, associate professor of the Department of Robotics and Integrated Mechanical Engineering Technologies of Lviv Polytechnic National University (Ukraine).

МОДЕЛЮВАННЯ ДАНИХ ПРОЦЕСІВ МОНІТОРИНГУ ПРИ НЕРІВНОМІРНИХ І НЕЧІТКИХ ІНТЕРВАЛАХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ

Анотація. У статті досліджено актуальні завдання щодо моделювання і аналізу даних часових послідовностей моніторингу процесів з нерівномірними та нечіткими інтервалами вибірки. Реалізація завдань аналізу і прогнозування таких часових рядів виконується на основі сепарабельної моделі, яка відрізняється окремим формуванням послідовностей величин показників процесу та інтервалів між спостереженнями. Сепарабельна модель була застосована для дослідження процесів клінічного моніторингу стану хворих на діабет з метою визначення оцінок величин нового періоду до виникнення стану/подій, які відповідають встановленим вимогам.

Проведено оцінку ефективності удосконаленого квантильного алгоритму моделювання часових послідовностей, запропонованого у цій роботі. Реалізація моделей послідовностей вимірів з нечітким кроком виконується шляхом застосування підходу на основі α -рівнів. Для скаляризації нечіткого результату застосовувався метод центру ваги.

Ключові слова: моніторинг, нерівномірна у часі вибірка, сепарабельна модель, нечітка квантильна модель, моніторинг стану хворих.

Вступ та постановка проблеми. У сучасних складних системах деякі параметри станів або контрольовані характеристики процесів можуть мати значну ступінь невизначеності. При цьому на практиці процедури моніторингу таких процесів часто дають змогу отримати лише короткі часові послідовності даних з нерівномірною у часі вибіркою. Такі короткі нерівномірні (також нечіткі) у часі послідовності даних (НЧПД) не дозволяють використовувати для аналізу традиційні статистичні моделі. При тому для нечітких характеристиках послідовностей вихідних даних завдання аналізу суттєво ускладнюється. Для вирішення завдань аналізу та прогнозування НЧПД натеper застосовують кілька підходів [1 – 3, 9, 12]. Відзначимо серед них включення часової інформації у метрики відстані, що використовуються для кластеризації часових рядів (ЧР) [12]. Застосування для моделювання і прогнозування нечітких часових рядів процедур із встановлення нерівних частин областей універсуму дискурсу, з подальшою оцінкою взаємозв'язків між послідовними точками даних з використанням генетичного алгоритму [9]. Створюються но-

ві структури моделювання, що забезпечують економію моделей нечітких часових рядів (FTS) при збереженні певного рівня точності поза вибіркою [10] та інше.

У попередніх дослідженнях нами була запропонована нова математична модель щодо аналізу НЧПД, яка для моделювання використовує сепарабельні форми обліку часових інтервалів між рівнями ряду. В цій моделі нерівномірні (нечіткі) інтервали вибірок виділяються в окрему складову, а також розглядаються як одна із компонент вектору даних процесу моніторингу. При моделюванні часової складової враховуються лише послідовності величин інтервалів. Разом з цим окремо моделюються інші характеристики досліджуваних процесів, які розташовуються у відповідності до порядку їх розміщення у початкових НЧПД. Отримані результати моделювання всіх характеристик у підсумку «накладаються» на результати моделювання часових інтервалів. Остаточно комплексна модель НЧПД являє собою сформовані для кожної із властивостей оцінки параметрів, які зв'язуються між собою з оцінками періодів, отриманими за моделлю часового інтервалу. Сепарабельна модель (СПМ) процесів моніторингу у цілому визначає як значення нового моменту виникнення чергової події спостережуваного процесу, так і відповідні кожному моменту характеристики процесу. У дослідженні СПМ нами була застосована для моделювання процесів клінічного моніторингу стану хворих на діабет. При цьому головна мета аналізу полягала у прогнозуванні максимального (нечіткого) періоду до подій, які відповідають встановленим вимогам.

У представлений статті вирішені важливі для формування СПМ завдання щодо підвищення чисельної ефективності алгоритмів моделювання складових (часової та інших змістовних) процесів моніторингу у формі НЧПД, реалізованих засобами нечітких часових послідовностей (FTS) [1, 2] на основі удосконалення модифікованої квантильної моделі [5, 7]. Іншим новим завданням являється моделювання процесів з перемінним інтервалом спостереження за допомогою формування нечіткої моделі інтервалів моніторингу. Запропоновані процедури моделювання НЧПД були перевірені шляхом порівняльного аналізу результатів з відомими дослідженнями. В подальшому вони були застосовані для моделювання процесів клінічного моніторингу стану хворих на діабет. При цьому засобами моделювання вирішуються головні завдання щодо прогнозування максимального (детермінованого або нечіткого) періоду до стану/подій, які відповідають певним вимогам, а також із визначення небезпечних оцінок показників процесу моніторингу, зокрема хвороби. В цій статті виконано подальше удосконалення алгоритму (FTS) шляхом поєднання квантильної моделі [5, 16] (представляє граничні процеси узагальнення) з випадко-

вими процесами спостережень, а також встановлено ефективність запропонованого алгоритму.

При реалізації процесів з нерівномірною у часі вибіркою застосовано перехід до моделей послідовностей з нечітким кроком, реалізація яких в подальшому виконується шляхом застосування підходу на основі α -рівнів [4, 6]. Для кожного із таких α -рівнів засобами моделювання розраховуються значення контрольованих параметрів процесів моніторингу. Для скаляризації і отримання загального показника нечіткого результату застосовувався метод центру ваги [4].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженням комплексу питань щодо моделювання недетермінованих процесів з нерівномірними інтервалами між спостереженнями приділяється все більше уваги [7 – 13]. Серед інших, в першу чергу відзначимо саме пропозицію розробки нової сепарабельної моделі як окремої форми аналізу і прогнозування таких НЧПД [16]. Модель СПМ передбачає формуванням послідовностей величин показників та інтервалів між спостереженнями окремо, з подальшим їх співставленням. Для реалізації СПВ був використаний модифікований алгоритм нечіткої квантильної моделі [7, 16]. Разом з цим відзначається, що реалізації методу СПМ значною мірою залежать від ефективності алгоритмів моделювання нечітких часових рядів.

Підхід до моделювання нерівномірних у часі вибірок на основі включення часової інформації у метрики відстані з метою удосконалення результатів кластеризації ЧР запропоновано у [8]. Відзначається, що більшість алгоритмів кластеризації, які засновані на відстані Евкліда або коефіцієнті кореляції Пірсона, не можуть включати часову інформацію в метрику відстані. Але порядок даних і різна довжина інтервалів вибірки важливі, тому вони повинні враховуватися при кластеризації ЧР. Пропонована у статті відстань для коротких часових рядів (STS) дозволяє вимірювати схожість нерівномірних форм поведінки. Шляхом включення відстані STS в стандартну схему нечіткої кластеризації був розроблений удосконалений алгоритм кластеризації нечітких часових рядів (FSTS) і наведено приклад, який демонструє його продуктивність.

В [9] відзначається що методологія прогнозування нечітких ЧР складається з визначення універсуму дискурсу (UOD), фазифікації точок даних часових рядів, встановлення зв'язків між послідовними точками даних і дефазифікації для отримання результатів прогнозування в початковій області. У цій статті для ЧР визначається UOD, далі встановлюються нерівні частини UOD, а потім оцінюється взаємозв'язок між послідовними точками даних для отримання моделей прогнозування. Для нерівномірного поділу UOD і встановлення

взаємозв'язку між частинами використовувався генетичний алгоритм. Запропонована модель прогнозування застосовувалась до кількох відомих у літературі часових рядів і виявилась ефективною. У статті [11] розглядається метод прогнозування переривчастих часових рядів з використанням сегментованої регресії. В ній також обговорюється істотний етап апріорного пропозиції моделі впливу, який часто упускається у дослідженнях. Демонструється підхід до статистичного аналізу, що включає основну та сегментовану регресійну модель.

У статтях [8, 10] пропонується нова структура моделювання, що забезпечує економію моделей нечітких часових рядів (НЧР) при збереженні певного рівня точності поза вибіркою. Економна модель НЧР вимагає множинної оптимізації гіперпараметрів, таких як тимчасові затримки і розбиття, яке складається з кількості нечітких множин, типу розбиття і функцій приналежності. У цьому дослідженні представлено економічний підхід до моделювання НЧР з використанням генетичного алгоритму (ГА). В роботі [13] виконується прогнозування якості повітря на основі показника прогнозу індексу забруднення (API) на основі різних класів математичних моделей, зокрема штучна нейронна мережа (ІНС), авторегресійна інтегральна змінна середня (ARIMA), тригонометричні регресорів і кілька моделей НЧР. Виконано коротке, але всебічне порівняльне дослідження результатів, отриманих для кожної з обраних моделей. Було виявлено, що моделі НЧР перевершують інші моделі з точки зору точності прогнозованих значень і часу обчислень [9]. Наведені вище та численні інші результати досліджень свідчать про високу ефективність та широку сферу застосування методів аналізу та прогнозування на основі НЧР. Разом з цим відзначається важливість подальшого розвитку алгоритмів FTS.

Натепер до найбільш актуальних відноситься методи, які здатні обробляти НЧПД в декілька кроків з високою точністю та малою перед історією процесів. Раніше Сонг і Чіссонг розробили концепцію нечітких часових моделей, застосовану для прогнозування процесів вступу до університету [1, 2],. Метод прогнозування, заснований на нечітких часових оцінках високого порядку запропонований в роботах [3, 7], який застосований для прогнозування проблеми реєстрації подій. Нові метрики призначені для прогнозування різноманітних НЧР інтервалів високого порядку були застосовані для прогнозу нещасних випадків [9, 14].

В [7] запропонована комплексна концепція, заснована на прогнозуванні тенденції з використанням нечітких відносин третього порядку. Метод був використаний для прогнозування TAIEX. Результати моделювання засвідчили переваги цьо-

го методу з точки зору складності процесу моделювання та точності результатів прогнозування. Цей підхід застосовано у статті [16]. Аналіз публікацій показав значну актуальність завдань із розвитку методів аналізу процесів з нерівномірними у часі послідовностями подій, а також суттєву обмеженість підходів до моделювання процесів моніторингу таких процесів.

Мета дослідження. Метою цього дослідження являється удосконалення методів моделювання даних моніторингу процесів з нерівномірними та нечіткими інтервалами вибірки з використанням нової сепарабельної моделі та методу аналізу і прогнозування нечітких часових рядів. В статті досліджується ефективність запропонованого у ній удосконаленого квантильного алгоритму моделювання нечітких часових послідовностей, який був застосований для аналізу процесів клінічного моніторингу стану хворих на діабет.

Результати та основний матеріал дослідження. В якості моделі недетермінованих процесів моніторингу у формі НЧПД, в нашій роботі застосовується удосконалена форма квантильної моделі [5], що відповідає усім передумовам методології FTS [1, 2]. При цьому розглядають НЧР $F(t)$, а також $R(t, t-1)$ - модель першого порядку $F(t)$. У разі визначення для $F(t)$ нечітких множин $F(t-1)$, $F(t-2)$, ..., $F(t-n)$ має місце відношення n-го порядку

$$F(t-n), \dots, F(t-2), F(t-1) \rightarrow F(t). \quad (1)$$

Базова процедура квантильної регресія для (1), запропонована в [7] і удосконалена в [16] для формування квантильної моделі досліджуваних процесів складається з трьох кроків: - 1) визначення області зміни показників, всесвіту дискурсу U часової послідовності та розподіл його на u_n рівних інтервалів; - 2) формування групи нечітких логічних відносин вищого порядку (у статті – третього порядку з трикутною функцією належності термів, які визначають лінгвістичні члени A_1, A_2, \dots, A_n); -3) з використанням умов третього порядку виконується прогнозування рівнів моделей ЧР. значення, яке розраховується

Особливість методу прогнозування полягає у введення показника моделювання «Тренд» та параметру $k(\kappa)$, який дозволяє характеризувати очікуваний напрям тренду процесу. Показник «Тренд» визначає напрямок послідовності даних, який розраховується за (2) – (4)

$$\left((y_{n-1} - y_{n-2}) - (y_{n-2} - y_{n-3}) \right) > k \quad (2)$$

$$\left((y_{n-1} - y_{n-2}) - (y_{n-2} - y_{n-3}) \right) < k \quad (3)$$

$$((y_{n-1} - y_{n-2}) - (y_{n-2} - y_{n-3})) = k \quad (4)$$

де n – поточний рівень ітерації; y_n – значення величини показника НЧР; k – параметр «каппа». Коли «Тренд» відповідає умові (2), прогнозоване значення розраховується за формулою (5).

$$t_j = \frac{2}{\frac{0.25}{m_{j-1}} + \frac{1}{m_j} + \frac{0.75}{m_{j+1}}} \quad (5)$$

При виконанні умови (3) прогнозоване значення розраховується за (6).

$$t_j = \frac{2}{\frac{0.75}{m_{j-1}} + \frac{1}{m_j} + \frac{0.25}{m_{j+1}}} \quad (6)$$

За умови (4) прогнозоване значення розраховується відповідно (7).

$$t_j = \frac{2}{\frac{0.5}{m_{j-1}} + \frac{1}{m_j} + \frac{0.5}{m_{j+1}}} \quad (7)$$

де m_{j-1} , m_j та m_{j+1} – середні точки інтервалів u_{j-1} , u_j та u_{j+1} з відповідними лінгвістичними термами A_{j-1} , A_j та A_{j+1} .

Удосконалення алгоритмів моделювання та прогнозування рівнів процесів були запропоновані в роботі [16]. Вони полягають у наступному; параметр «каппа» k був представлений діапазоном $[k_1, k_2]$, з відповідною модифікацією умов тренду (2) – (4), а замість середніх точок інтервалів m_j в моделях (5) – (7) використовувалися безпосередньо y_n – значення показників рівнів нечіткої часової послідовності. Також були запропоновані інші ніж (2) – (4) моделі із оцінювання тренду, в яких визначення тренду проводилось на основі агрегованих ЧР, утворених на основі вихідної послідовності даних, що виявилися ефективними.

З метою підвищення ефективності процедур реалізації сепарабельної моделі НЧПД виконаємо подальше удосконалення квантильного алгоритму, застосованого у статтях [7, 16]. Сутність модифікації змістовно полягає у поєднанні результатів [7], представлених моделями (2) – (4) та (5) – (7) $U_f(t)$, які базуються на серединах m_j інтервалів квантування u_j , та зазначеною вище їх інтерпретацією $V_f(t)$ в статті [16]. Таке поєднання формально можна представити як зважену згортку результатів, отриманих на основі серединах інтервалів m_j з результатами моделювання за алгоритмами [16]. Були досліджені кілька схем поєднання (8) – (10) результатів, отриманих за моделями $U_f(t)$, $V_f(t)$. За схемою (8) результат моделювання на кроці « k » формується на основі (5) – (7) при заміні серединах m_j інтервалів квантування u_j на значення y_k рівнів вхідного ЧР, а

також на основі відповідного центру інтервалу m_k . Величина параметру « α » підбирається на основі процедури мінімізації квадрату середньої похибки

$$Y_k = \alpha V_k + (1-\alpha)u_k \quad 0 \leq \alpha \leq 1 \quad (8)$$

на основі (5) – (7) для V_k , а також для $U_f(t)$, що відповідає алгоритму статті [7], з підбором параметру « α »

$$Y_k = \alpha V_k + (1-\alpha)U_{fk} \quad (9)$$

За схемою (9) результат формується відповідно V_k , для схеми (8), але в разі величин вхідного ЧР беруться значення (10)

$$z_k = \alpha x_k + (1-\alpha)m_k \quad (10)$$

В результаті чисельних досліджень було встановлено, що всі схеми (8) – (10) являються ефективними з точки зору точності результатів моделювання вхідного НЧР. При цьому удосконалений алгоритм статті [16] мав перевагу перед алгоритмом роботи [7]. Також алгоритми за схемами (8), (9) давали кращі результати ніж попередник [16], але схема (9) являється більш складною. Використання схеми (10) не давало суттєвих переваг. У підсумку для подальшої реалізації НЧР моделями СПМ використовувався удосконалений квантильний алгоритм за схемою (8).

Сепарабельну модель (СПМ) процесу моніторингу НЧПД $F(t)$ представимо у наступному вигляді

$$SpM(t) = SpM_i(k) \cup \{SpM_i(SpM_i(k))\}, i=1, 2, \dots, q \quad (11)$$

де позначено як t – координата часу, i – індекси вектору характеристик процесу моніторингу, k – порядковий номер рівня вибірки даних $SpM(k)$. Таким чином СПМ (11) утворюється шляхом поєднання моделей окремих характеристики $F(t)$, розрахованих для моментів, визначених на основі нечіткої моделі часу процесу $SpM_i(k)$.

Перевірку придатності та точності схеми (8) для сепарабельних моделей було виконано також на відомих результатах моделювання НЧР – прогнозування ТАIFEX [7]. Для цих процесів квантильна модель (4) – (7) виявилася порівняно кращою за інші методи FTS з точки зору складності моделі та точності оцінок прогнозування. Застосування схеми (8) до даних ТАIFEX показали її перевагу. З метою дослідження можливостей сепарабельних моделей (11) дані ТАIFEX були трансформовані таким чином, щоб відобразити задану нами нерівномірність процесів. При цьому умовно вважалося, що дані надходять через періоди часу, які пропорційні величинам показників. На рис. 1 показана варіативність періодів між спостереженнями, на рис. 2 – масштабовані значення моделі для показни-

ків, а на рис. 3 приведені результати застосування СПМ моделі (11). При цьому кожна із складових моделі СПМ має точність до 1,5%.

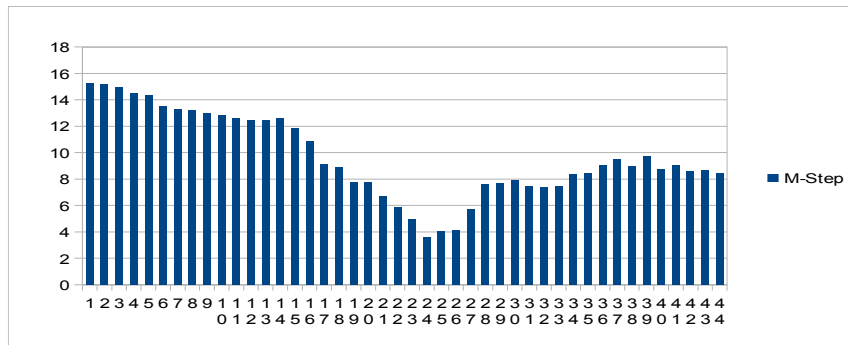


Рисунок 1 – Моделювання послідовності періодів між спостереженнями процесу

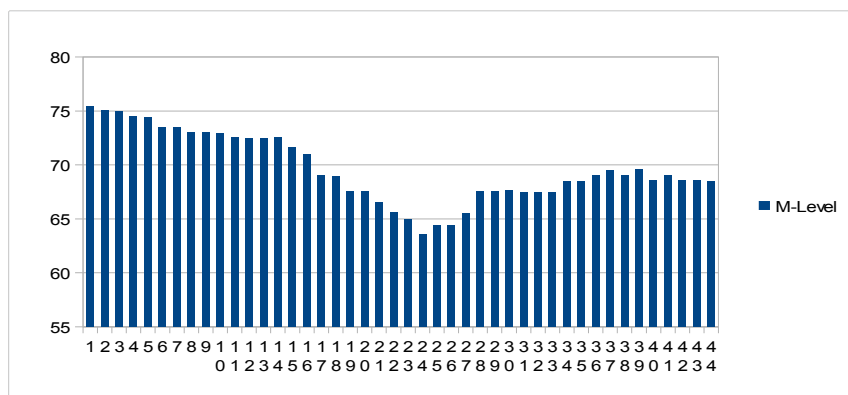


Рисунок 2 – Моделювання послідовності рівнів процесу

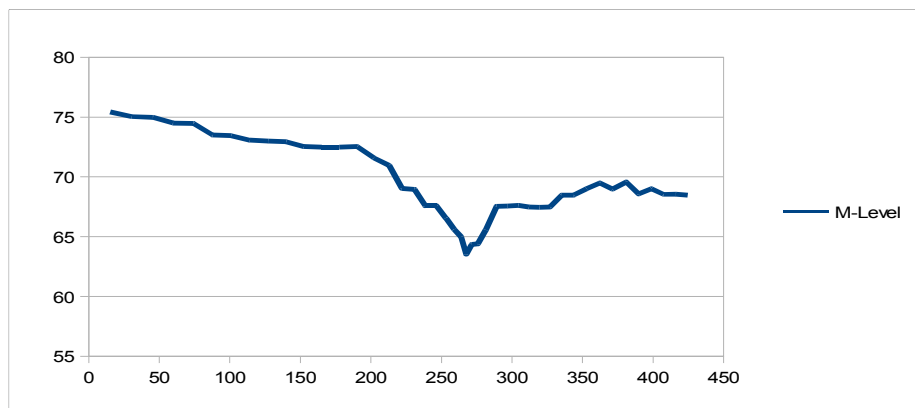


Рисунок 3 – Представлення процесу з перемінним інтервалом на основі сепарабельної моделі

З метою визначення оцінок величин наступного періоду до виникнення стану/подій, які відповідають встановленим вимогам, за допомогою СПМ (11) були досліджені процеси клінічного моніторингу стану хворих на діабет. Необхідно відзначити, що періоди моделі моніторингу надзвичайно нерівномірні та особливі для різних хворих. Тож для кожного хворого треба застосовувати індиві-

дуальну модель процесу клінічного моніторингу. На рис. 4 та рис. 5 показані розраховані складові сепарабельної моделі (11) для певного пацієнта (інтервал між вимірами і рівень показника цукру в певному масштабі, відповідно). Моделі рис. 4 та рис. 5 утворені шляхом розмноження дійсних вибірок моніторингу методом бутстрепу [15].

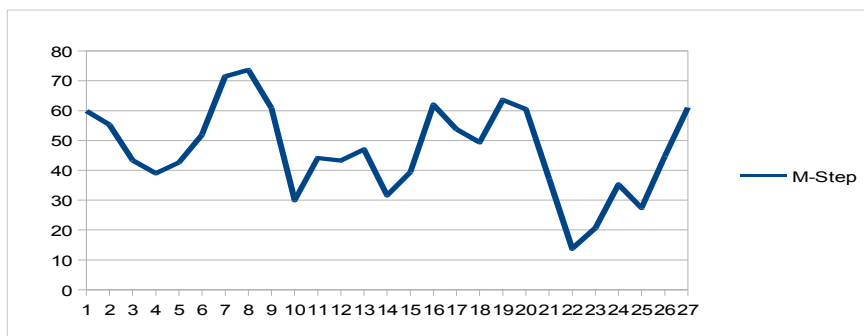


Рисунок 4 – Моделювання інтервалів процесу моніторингу хворого

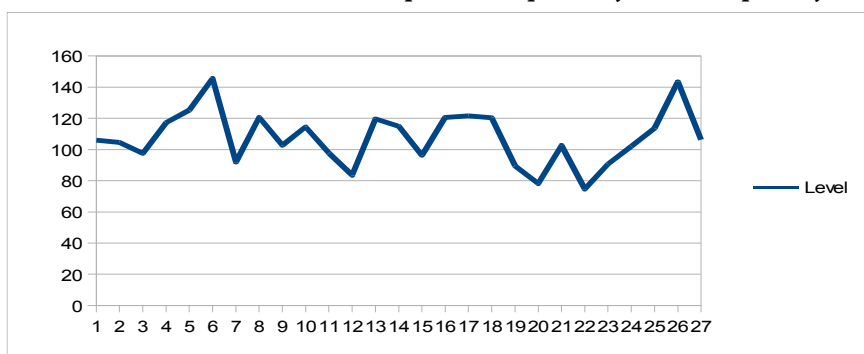


Рисунок 5 – Моделювання рівнів показника цукру процесу моніторингу хворого

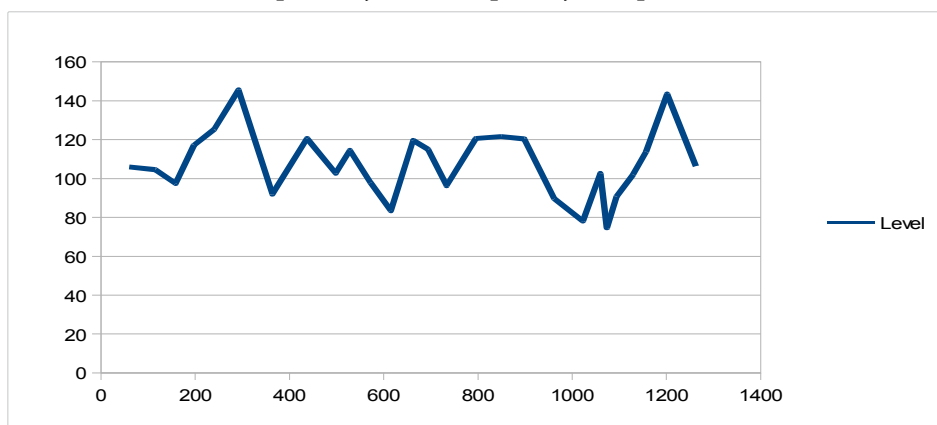


Рисунок 6 – Сепарабельна модель процесу клінічного моніторингу

Модель рис. 6 відтворює процес клінічного моніторингу пацієнта при нерівномірних інтервалах контролю з похибкою до 5% , що можна вважати достатнім для забезпечення встановлених вимог щодо оцінки стану хворого.

Моделювання процесів клінічного моніторингу при нечітких інтервалах

(в термінах нечіткого кроку) застосовано в цьому дослідженні через складну структуру опису послідовностей інтервалів між спостереженнями (рис. 4 – рис. 6). Для формування нечіткої моделі кроку нами були використані стандартні процедури нечіткого моделювання [4, 6], пристосовані до даних процесів клінічного моніторингу. При утворенні нечіткої моделі інтервалів $(h_{\mu}(k), k=1, 2, \dots)$ для моніторингу процесів типу рис. 4 була застосована лінгвістична змінна подібна до рис. 7 виду

$$S_{\mu} = (10_{\mu}, 35_{\mu}, 60_{\mu}, 85_{\mu}, 110_{\mu}), \quad (12)$$

де за допомогою символу « μ » позначені відповідні трикутні нечіткі величини [4].

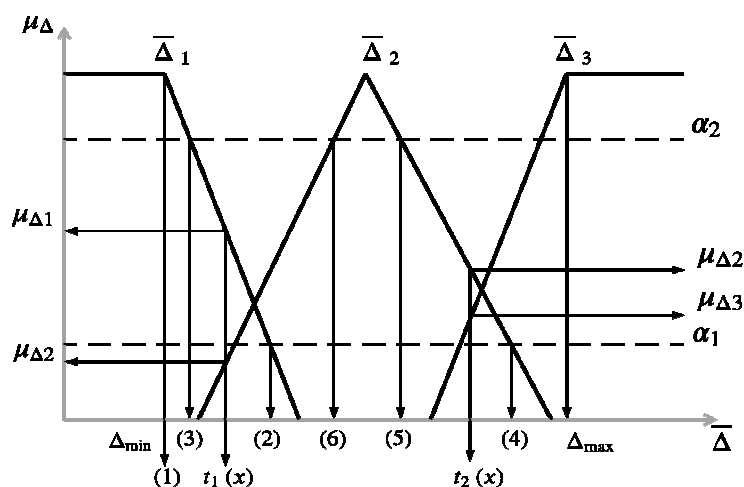


Рисунок 7 – Нечітке моделювання інтервалів процесів моніторингу

На умовному рисунку наведена лише частина термів нечіткої величини (12), щоб не робити його громіздким. Рисунок показує, що вхідні дані (етап фазифікації) відносяться до нечітких термів з більшою величиною ступеня належності (значення для $t_1(x)$ та $t_2(x)$). Також рис. 7 показує завдання формування діапазонів для моделювання процесів на α -рівнях. Наприклад, на рівні α_1 точки (2) та (4) відповідають максимальним значенням першого та другого термів, а точки (6) і (5) визначають детерміновані мінімальні та максимальні границі діапазону другого терму на α -рівні α_2 . За рахунок представлення $(h_{\mu}(k), k=1, 2, \dots)$ на α -рівнях нечіткі послідовності кроків приводяться до послідовностей з нерівномірним кроком.

Для застосування моделі СПМ з нечітким кроком послідовність рівнів процесу моніторингу представляють у вигляді

$$WT(t) = ((w_1, t_1), (w_2, t_2), \dots, (w_k, t_k), \dots), \quad (13)$$

де w_k – значення показника, t_k – час події рівня « k ». Позначаючи $d_k = (t_k - t_{k-1})$, формують послідовність інтервалів процесу $d(t) = (d_1, d_2, \dots, d_k, \dots)$, яка після фазифікації рис. 7 дає нечітку модель послідовності інтервалів $d_{\mu(k)}$, вигляду

$$d(t) = (d_{\mu 1}, d_{\mu 2}, \dots, d_{\mu k}, \dots). \quad (14)$$

Позначимо як D_{α} детерміновані моделі послідовностей інтервалів між подіями моніторингу на α -рівнях, отримані окремо для нижніх ($r=f$) та верхніх ($r=e$) значень діапазонів (рис. 7).

Отримані для α -рівнів детерміновані моделі послідовностей інтервалів з перемінним кроком реалізуються за схемою квантильного алгоритму (8). При цьому отримують систему оцінок d_p^* , які утворюють нечітку величину PS = «крок процесу»

$$PS = \sum (\alpha_p / d_p^*). \quad (15)$$

Методом центру ваги нечітких величин [4] виконується скаляризація НВ та визначаються оцінки показників моделей (14)

$$d_{k+1} = \sum (\alpha_p / d_p^*) / \sum \alpha_p \quad (16)$$

Таким чином, в цьому дослідженні аналіз та прогнозування подій при нечітких інтервалах реалізується стандартно – багаторазовим розрахунком детермінованих моделей процесів з нерівномірним інтервалом між подіями. Відзначимо що останні два рівні моделей процесів рис. 6 отримані на основі скалярних оцінок (16).

Висновки. У статті досліджені актуальні завдання щодо моделювання і прогнозування даних процесів моніторингу з нерівномірними та нечіткими інтервалами вибірки, які були реалізовані на основі сепарабельної моделі. Особливість цієї моделі визначається окремим формуванням послідовностей величин показників процесу та інтервалів між спостереженнями. Сепарабельна модель була застосована і виявилась ефективною при дослідженні процесів клінічного моніторингу стану хворих на діабет. Модель моніторингу була побудована з урахуванням з нечітких кроків послідовностей вимірів та реалізована шляхом застосування підходу на основі α -рівнів. В роботі виконано дослідження та встановлена ефективність запропонованого в ній удосконаленого квантильного алгоритму щодо моделювання нечітких часових послідовностей.

ЛИТЕРАТУРА / ЛІТЕРАТУРА

1. Q. Song, and B. S. Chissom, "Forecasting enrollments with fuzzy time series — Part I," Fuzzy Sets and Systems, vol. 54, issue 1, 1993a, pp. 1–9.
2. B. S. Chissom, "Fuzzy time series and its models," Fuzzy Sets and Systems, vol. 54, issue 3, 1993b, pp. 269–277.

3. S. M. Chen, "Forecasting enrollments based on fuzzy time series," Fuzzy Sets and Systems, vol. 81, 1996, pp. 311-319.
4. Перат А. Нечеткое моделирование. – М. БИНИМ, 2009. – 798 с.
5. R. Koenker, "Quantile Regression", Cambridge University Press, NY- 2005. pp. 137 – 143.
6. Рутковский Л. Методы и технологии искусственного интеллекта. – М. Горячая линия – Телеком, 210. – 520 с. .
7. Tahseen A., Aqil S., Burney Cemal A. A New Quantile Based Fuzzy Time Series Forecasting Model [Электронный ресурс] – Режим доступа:
<https://publications.waset.org/14214/pdf>
8. E. Bas, U. Yolcu and E. Egrioglu, "Intuitionistic fuzzy time series functions approach for time series forecasting", Granular Computing, 2020.
9. S.S. Pal and S. Kar, "Fuzzy Time Series Model for Unequal Interval Length Using Genetic Algorithm" Advances in Intelligent Systems and Computing, vol. 699 2019.
10. J.L. Bernal, S. Cummins, A. Gasparrini "Interrupted time series regression for the evaluation of public health interventions: a tutorial", International Journal of Epidemiology, vol. 46, Issue 1, 2016 pp. 348–355.
11. R. Gao, O. Duru "Parsimonious fuzzy time series modeling", Expert Systems With Applications vol. 156, 2020.
12. Carla S. M'oller-Levet, F. Klawonn, Kwang-Hyun Cho and O. Wolkenhauer, "Fuzzy Clustering of Short Time-Series and Unevenly Distributed Sampling Points", Advances in Intelligent Data Analysis V, 2003 pp. 330–340.
13. W. Koo, Shin Wee Wong, G. Selvachandran, Hoang Viet Long, Le Hoang Son, "Prediction of Air Pollution Index in Kuala Lumpur using fuzzy time series and statistical models", Air Quality, Atmosphere & Health vol. 13, 2019 pp. 77-88
14. T. A. Jilani, S. M. A. Burney, and C. Ardil, "Multivariate high order fuzzy time series forecasting for car road accidents," International Journal of Computational Intelligence, vol. 4, issue 1, 2007b, pp. 15-20.
15. Моделі і методи соціально-економічного прогнозування /Геєць В.М., Клебанова Т.С., Черняк О.І. – Харків: ВД «ІНЖЕК», 205. – 396 с.
16. Методи інтелектуального моделювання процесів з перемінним інтервалом спостережень та конструктивного упорядкування «з вагою» / В.В. Скалозуб, Б.Б. Білий, О.О. Галабут, О.В. Мурашов. // Системні технології. – 2020. – Випуск 5 (132). – С. 83-98.

REFERENCES

1. Q. Song, and B. S. Chissom, "Forecasting enrollments with fuzzy time series — Part I," Fuzzy Sets and Systems, vol. 54, issue 1, 1993a, pp. 1-9.
2. B. S. Chissom, "Fuzzy time series and its models," Fuzzy Sets and Systems, vol. 54, issue 3, 1993b, pp. 269-277.
3. S. M. Chen, "Forecasting enrollments based on fuzzy time series," Fuzzy Sets and Systems, vol. 81, 1996, pp. 311-319.
4. Pegat A. "Fuzzy modeling", – M. BINOM, 2009, 798p.
5. R. Koenker, "Quantile Regression", Cambridge University Press, NY- 2005. pp. 137–143.
6. Rutkovskiy L. Methods and technology of artificial intellect. – M. Hot line – Telecom, 210. – 520 c.
7. Tahseen A., Aqil S., Burney Cemal A. A New Quantile Based Fuzzy Time Series Forecasting Model [Електронний ресурс] – Режим доступу:
<https://publications.waset.org/14214/pdf>
8. E. Bas, U. Yolcu and E. Egrioglu, "Intuitionistic fuzzy time series functions approach for time series forecasting", Granular Computing, 2020.
9. S.S. Pal and S. Kar, "Fuzzy Time Series Model for Unequal Interval Length Using Genetic Algorithm" Advances in Intelligent Systems and Computing, vol. 699 2019.
10. J.L. Bernal, S. Cummins, A. Gasparrini "Interrupted time series regression for the evaluation of public health interventions: a tutorial", International Journal of Epidemiology, vol. 46, Issue 1, 2016 pp. 348–355.
11. R. Gao, O. Duru "Parsimonious fuzzy time series modeling", Expert Systems With Applications vol. 156, 2020.
12. Carla S. Moller-Levet, F. Klawonn, Kwang-Hyun Cho and O. Wolkenhauer, "Fuzzy Clustering of Short Time-Series and Unevenly Distributed Sampling Points", Advances in Intelligent Data Analysis V, 2003 pp. 330–340.
13. W. Koo, Shin Wee Wong, G. Selvachandran, Hoang Viet Long, Le Hoang Son, "Prediction of Air Pollution Index in Kuala Lumpur using fuzzy time series and statistical models", Air Quality, Atmosphere & Health vol. 13, 2019 pp. 77-88
14. T. A. Jilani, S. M. A. Burney, and C. Ardil, "Multivariate high order fuzzy time series forecasting for car road accidents," International Journal of Computational Intelligence, vol. 4, issue 1, 2007b, pp. 15-20.
15. Models and methods of socio-economic forecasting / Geyets V.M., Klebanova T.S., Chernyak O.I. – Kharkiv: PH «INZHEK», 205. – 396 p.
16. Methods of intelligent modeling of processes with a variable observation interval and constructive ordering "with weight" / V.V. Skalozub, B.B. Belyy, O.O. Galabut, O.V. Murashov // System technologies, 2020, vol. 5 (132). – P. 83-98.

Received 15.04.2021.

Accepted 17.04.2021.

**Моделирование процессов мониторинга при неравномерных
и нечетких интервалах наблюдений**

В статье приведены результаты применения сепарабельной математической модели анализа нечетких временных последовательностей с неравномерными и нечеткими интервалами выборки данных. Проведено исследование эффективности усовершенствованного квантильного алгоритма моделирования. Реализация моделей последовательностей измерений с нечетким шагом выполняется путем применения подхода на основе α -уровней. Для скаляризации нечеткого результата применялся метод центра тяжести. Сепарабельная модель была применена для моделирования процессов клинического мониторинга состояния больных диабетом.

Modeling of monitoring processes with uneven and fuzzy observation intervals

The paper presents the results of applying a separable mathematical model for analyzing fuzzy time series with uneven and fuzzy data sampling intervals. The study of the efficiency of an advanced quantile modeling algorithm is presented. The implementation of models of measurement sequences with fuzzy steps is conducting by applying the approach based on α -levels. The center of weight method was used for scalarization the fuzzy result. A separable model was used for modeling the processes of clinical monitoring of patients with diabetes.

Скалозуб Владислав Васильович - профессор, каф. «Компьютерные информационные технологии», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна.

Мурашов Олег Вячеславович - аспирант, каф. «Компьютерные информационные технологии», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна.

Скалозуб Владислав Васильович - професор, каф. «Комп'ютерні інформаційні технології», Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.

Мурашов Олег В'ячеславович - аспірант, каф. «Комп'ютерні інформаційні технології», Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.

Skalozub Vladislav Vasilovich - professor, Dep. "Computer and Information Technology", Dniprovsk National Universal University of Public Transport named after Academician V. Lazaryan.

Murashov Oleg - post-graduate student, Dep. "Computer and Information Technology", Dniprovsk National Universal University of Public Transport named after Academician V. Lazaryan.

Т.В. Селівьорстова, В.Ю. Селівьорстов, Ю.А. Мала

**ДРОБНО-ДИФЕНЦІЙНИЙ ПІДХІД ДЛЯ ОПИСУ ПРОЦЕСУ
ЖИВЛЕННЯ МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ,
ЩО ТВЕРДІЮТЬ В УМОВАХ РЕГУЛЬОВАНОВОГО ГАЗОВОГО ТИСКУ**

Анотація. Для опису процесів фільтрації в складних дендритно-пористих середовищах запропонований ряд дробно-диференційних математичних моделей дифузійного типу. Описано нелінійне рівняння, що містить дробові похідні Рімана-Ліувілля за часом, яке може бути застосовано для коректного опису однофазної фільтрації не ньютонівської рідини в пористому середовищі.

Ключові слова: фільтрація; математична модель; дробна похідна; дрібно-диференційне рівняння; узагальнений закон Дарсі.

Вступ. Двохфазна зона, що утворюється при переході розплаву з рідкого в твердий стан, часто може характеризуватись аномальною кінетикою протікання. Особливості кінетики в цьому випадку виникає у зв'язку з виникненням ефектів просторової нелокальності і, в ряді випадків, ефектів пам'яті, що підкоряються різним ступеневим законам [1-3]. Математичним апаратом, що дозволяє адекватно описувати такі процеси, є теорія інтегро-диференціювання дробового порядку [4-6].

Цілю статті є викладення основних положень теорії інтегро-диференціювання дробового порядку та шляхи їхнього застосування для коректного опису масопереносу процесу живлення металів і сплавів, що твердіють в умовах регульованого газового тиску.

Дробно-дифенційні моделі фільтрації. Основна ідея моделювання полягає в заміні реального неоднорідного середовища двофазної зони модельним однорідним шраристим середовищем зі ступеневою пам'яттю та просторовою нелокальністю. При цьому реалізується неповний опис фільтраційного процесу диференціальним рівнянням дробового порядку, а наявність дробових похідних в модифікаціях основних законів і співвідношень свідчить про наявність, так званих, прихованих змінних [7].

Модель однофазної фільтрації з дробовими похідними за часом. Розглянемо випадок однофазного течії. Відправною точкою для виведення моделі, як і в класичному випадку, служить рівняння нерозривності, яке для течії в шпаристому середовищі має вигляд

$$\frac{\partial(\phi\rho)}{\partial t} + \operatorname{div}(\rho\mathbf{w}) = q, \quad (1)$$

де ϕ - шпаристість середовища, ρ - щільність рідини, що фільтрується, \mathbf{w} - вектор швидкості рідини, q - щільність внутрішніх джерел маси, t - час.

У загальному випадку шпаристість залежить як від тиску рідини, так і від напруженодеформованого стану середовища [8]. Дендритно-шпаристе середовище часто проявляє в'язкопружні властивості [9]. При цьому наявність розвинутої мережі дендритів з фрактальною структурою призводить до неадекватності класичних реологічних рівнянь Максвелла, Кельвіна-Фойгта або Зенера і вимагає переходу до їх дробнодіференціальних аналогів [10]. В результаті шпаристість буде функцією не тільки тиску, а й дробової похідної (або дрібного інтеграла) від тиску:

$$\phi = \phi(p, {}_0D_t^\alpha(p)), \quad \alpha \in (-1, 1), \quad (2)$$

де p - тиск, α - порядок дробової похідної, ${}_0D_t^\alpha(p)$ - дробова похідна.

Вплив тріщин в шпаристому середовищі на фільтрацію рідини може бути враховано модифікацією закону Дарсі. У роботах [11-13] запропоновані різні дробнодіференціальні узагальнення даного лінійного закону. Однак в загальному випадку закон фільтрації є нелінійним. Однією з можливих нелінійних модифікацій закону фільтрації є

$${}_0D_t^\gamma(\nabla p) = -F(|\mathbf{w}|) \frac{\mathbf{w}}{|\mathbf{w}|}, \quad \gamma \in (0, 1), \quad (3)$$

де $F(z)$ - задана функція. У граничному випадку $\gamma = 1$ рівняння (3) переходить у відомий [14] нелінійний закон фільтрації цілого порядку.

Закон (3) є за своєю природою субдифузійним і може бути використаний для моделювання фільтрації в природних дендритно-шпаристих середовищах, в яких дендрити розподілені в середньому рівномірно за обсягом. У цьому випадку основний потік рідини визначається саме плином по міждендритним каналам, а шпариста частина середовища справляє гальмуючу дію на потік і грає роль областей захоплення частинок рідини.

Вирішуючи (3) щодо швидкості, отримаємо

$$\mathbf{w} = -f\left({}_0D_t^\gamma(\nabla p)\right)\frac{\nabla p}{|\nabla p|}, \quad \gamma \in (0,1), \quad (4)$$

де $f(z) = F^{-1}(z)$.

Підстановка (2) і (4) в закон збереження (1) призводить до наступного нелінійного дрібно-диференційного рівняння фільтрації в'язкопружного середовища в дендритно-шпаристому середовищі:

$$\begin{aligned} & (c_{f1} + c_{\phi1})p_t + c_{\phi\alpha}{}_0D_t^{\alpha+1}p + c_{f\beta}{}_0D_t^{\beta+1}p = \\ & = q + \frac{1}{\phi} \operatorname{div} \left[f\left({}_0D_t^\gamma(\nabla p)\right)\frac{\nabla p}{|\nabla p|} \right] + \frac{f\left({}_0D_t^\gamma(\nabla p)\right)}{\phi} (c_{f1}\nabla p + c_{f\beta}{}_0D_t^\beta(\nabla p)), \end{aligned} \quad (5)$$

де $c_{f1} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial p}$, $c_{\phi1} = \frac{1}{\phi} \frac{\partial \phi}{\partial p}$ – класичні ізотермічні стисливості рідини і пористого

середовища, відповідно, а

$c_{f\beta} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial {}_0D_t^\beta p}$, $c_{\phi\alpha} = \frac{1}{\phi} \frac{\partial \phi}{\partial {}_0D_t^\alpha p}$ – їх узагальнені дрібно-диференційні ізотермічні стисливості.

Рівняння (5) відноситься до класу нелінійних дрібно-диференційних рівнянь аномальної дифузії. У загальному випадку його аналіз являє собою досить нетривіальну задачу. Однак на практиці далеко не завжди всі ефекти, що враховуються рівнянням, проявляються одночасно і є значущими. В результаті з (6) можуть бути отримані різні сімейства простіших моделей.

Як приклад розглянемо випадок, коли впливом зміни пористості на фільтрацію можна знехтувати ($\phi = \text{const}$), внутрішні джерела маси відсутні і модель є одновимірною. Тоді з (5) отримуємо

$$c_{f1}p_t + c_{f\beta}{}_0D_t^{\beta+1}p_x = \left[g\left({}_0D_t^\gamma(p_x)\right) \right]_x + g\left({}_0D_t^\gamma(p_x)\right)(c_{f1}p_x + c_{f\beta}{}_0D_t^\beta(p_x)), \quad (6)$$

де $g(z) = f(z)/\phi$. У припущенні малості градієнта тиску (часто справедливому при фільтрації) останнім доданком в правій частині (6) можна знехтувати як меншим у порівнянні з першим доданком правої частини. У цьому випадку (6) спрощується і набуває вигляду дробнодиференційного узагальнення нелінійного телеграфного рівняння:

$$c_{f1}p_t + c_{f\beta}{}_0D_t^{\beta+1}p = \left[g\left({}_0D_t^\gamma(p_x)\right) \right]_x. \quad (7)$$

Виконаємо в даному рівнянні нелокальну заміну залежної змінної:

$$p_x = {}_0I_t^\gamma u,$$

де u – нова залежна змінна. Диференціюючи (7) по x і здійснюючи заміну змінних, в силу відомих [4, 5] властивостей операторів дробового інтегрування і диференціювання

$${}_0D_t^\alpha {}_0I_t^\beta = {}_0D_t^{\alpha-\beta}, \quad {}_0D_t^\alpha {}_0I_t^\alpha = 1,$$

отримаємо рівняння

$$c_{f1} {}_0D_t^{1-\gamma} u + c_{f\beta} {}_0D_t^{1+\beta-\gamma} u = [g(u)]_{xx}$$

або

$$c_{f1} {}_0D_t^{1-\gamma} u + c_{f\beta} {}_0D_t^{1+\beta-\gamma} u = [h(u)u_x]_x, \quad (8)$$

де $h(u) = g'(u)$.

При $\beta < \gamma$ рівняння (8) буде рівнянням субдифузійного типу, при $\beta = \gamma$ це буде рівняння дифузії з нелокальним обуренням, при $\beta > \gamma$ маємо дифузійно-хвильове рівняння.

Висновки. Використаний в роботі підхід носить феноменологічний характер, тому можливість їх застосовності в кожному конкретному практичному випадку повинна бути обґрунтована з використанням експериментальних даних, що підтверджують справедливості відповідних дрібно-диференціальних узагальнень феноменологічних гіпотез. Застосування даного підходу для опису динаміки процесу живлення двофазної зони металів і сплавів, що твердіють в умовах регульованого газового тиску. Представлені в роботі дрібно-диференційні моделі фільтрації відносяться до класу рівнянь аномальної дифузії. Характерною особливістю отриманих рівнянь, що відрізняє їх від відомих дрібно-диференційних моделей фільтрації, є їх нелінійність. При цьому моделі зберігають структуру класичних рівнянь фільтрації цілого порядку і переходять в них в граничних випадках, коли порядок дрібного диференціювання стає цілим.

Вивчення якісних властивостей отриманих рівнянь, а також побудова їх чисельних рішень є досить нетривіальними завданнями, які вимагають в кожному окремому випадку самостійного дослідження.

ЛІТЕРАТУРА / ЛІТЕРАТУРА

1. Газизов Р.К. Дробно-дифференциальный подход к моделированию процессов фильтрации в сложных неоднородных пористых средах / Р.К. Газизов, С.Ю. Лукашук // Информатика, вычислительная техника и управление. – 2017. – №4. – С. 104–112.

2. Аномальная диффузия радионуклидов в сильнонеоднородных геологических формациях / под. Ред. Л. А. Большова. М.: Наука, 2010. 342 с.
3. Sahimi M. Flow and transport in porous media and fractured rock: from classical methods to modern approaches. Weinheim: Wiley-VCH, 2011. 733 p.
4. Самко С. Г., Килбас А. А., Маричев О. И. Интегралы и производные дробного порядка и некоторые их приложения. Минск: Наука и техника, 1987. 688 с.
5. Kilbas A. A., Srivastava H. M., Trujillo J. J. Theory and applications of fractional differential equations. Amsterdam: Elsevier, 2006. 523 p.
6. Учайкин В. В. Метод дробных производных. Ульяновск: изд-во «Артишок», 2008. 512 с.
7. Учайкин В. В. Механика. Основы механики сплошных сред. СПб.: изд-во Лань, 2017. 860 с.
8. Николаевский В. Н. Геомеханика и флюидодинамика. М.: Недра, 1996. 448 с.
9. Ba J., Du Q., Carcione J. M., Zhang H., Muller T. M. Seismic exploration of hydrocarbons in heterogeneous reservoirs. Amsterdam: Elsevier, 2014. 370 p.
10. Mainardi F. Fractional calculus and waves in linear viscoelasticity. An introduction to mathematical models. Singapore: Imperial College Press, 2010. 367 p.
11. Caffarelli L., Vazquez J. L. Nonlinear porous medium flow with fractional potential pressure // Archive for Rational Mechanics and Analysis. 2011. V. 202. No. 2. P. 537–565.
12. Raghavan R. Fractional diffusion: performance of fractured wells // Journal Petroleum Science and Engineering. 2012. V. 92–93. P. 167–173.
13. Abiola O. D., Enamul H. M., Kassem M., Sidqi A. A. A modified memory-based mathematical model describing fluid flow in porous media // Computers and Mathematics with Applications. 2017. V. 73. No. 6. P. 1385–1402.
14. Чарный И. А. Подземная гидрогазодинамика. М.–Ижевск: РХД, 2006. 416 с.

REFERENCES

1. Gazizov R.K. Fractional-differential approach to modeling filtration processes in complex heterogeneous porous media / R.K. Gazizov, S.Yu. Lukashchuk // Informatics, computer technology and management. - 2017. - No. 4. - S. 104–112.
2. Anomalous Radionuclide Diffusion in Highly Heterogeneous Geological Formations, ed. By L. A. Bolshov, (in Russian). М.: Nauka, 2010.
3. Sahimi M. Flow and transport in porous media and fractured rock: from classical methods to modern approaches. Weinheim: Wiley-VCH, 2011. 733 p.
4. S. Samko, A. Kilbas, O. Marichev, Fractional Integrals and Derivatives. Theory and Applications, (in Russian). Minsk: Nauka I tehnika, 1987.

5. Kilbas A. A., Srivastava H. M., Trujillo J. J. Theory and applications of fractional differential equations. Amsterdam: Elsevier, 2006. 523 p.
6. Учайкин В. В. Метод дробных производных. Ульяновск: изд-во «Артишок», 2008. 512 с. [V. V. Uchaikin, Fractional derivatives method, (in Russian). Ul'yanovsk: izd-vo "Artishok", 2008.]
7. V. V. Uchaikin, Mechanics. Basics of continuum mechanics, (in Russian). SPb.: izd-vo Lan', 2017.
8. V.N. Nikolaevsky, Geomechanics and fluidodynamics, (in Russian). M.: Nedra, 1996.
9. Ba J., Du Q., Carcione J. M., Zhang H., Muller T. M. Seismic exploration of hydrocarbons in heterogeneous reservoirs. Amsterdam: Elsevier, 2014. 370 p.
10. Mainardi F. Fractional calculus and waves in linear viscoelasticity. An introduction to mathematical models. Singapore: Imperial College Press, 2010. 367 p.
11. Caffarelli L., Vazquez J. L. Nonlinear porous medium flow with fractional potential pressure // Archive for Rational Mechanics and Analysis. 2011. V. 202. No. 2. P. 537–565.
12. Raghavan R. Fractional diffusion: performance of fractured wells // Journal Petroleum Science and Engineering. 2012. V. 92–93. P. 167–173.
13. Abiola O. D., Enamul H. M., Kassem M., Sidqi A. A. A modified memory-based mathematical model describing fluid flow in porous media // Computers and Mathematics with Applications. 2017. V. 73. No. 6. P. 1385–1402.
14. I. A. Charnyi, Underground hydro-gas dynamics, (in Russian). M.-Izhevsk: RChD, 2006.

Received 15.04.2021.

Accepted 17.04.2021.

Дробно-дифференциальный подход для описания процесса питания металлов и сплавов, затвердевающих в условиях регулируемого газового давления

Для описания процессов фильтрации в сложных дендритно-пористых средах предложен ряд дробно-дифференциальных математических моделей диффузионного типа. Описано нелинейное уравнение, содержащее дробные производные Римана-Лиувилля по времени, которое может быть применено для корректного описания однофазной фильтрации неньютоновской жидкости в пористой среде.

Fractional-differential approach to describe the process of feeding metals and alloys solidifying under controlled gas pressure

To describe the processes of filtration in the folding dendritic-porous middle of the proporation, a number of fractional-differential mathematical models of the diffusion type. Described non-linear, how to take the shot of the abducted Riman-Leeuwill for an hour, as it can be stuck for a correct description of the single-phase filtration of not Newtonian age in the porous middle.

The two-phase zone, which is established during the transition from melting from hard to hard mill, can often be characterized by abnormal kinetics of resistance. The peculiarities of kinetics in the whole range of winners are related to the issues of widespread nonlocality, in a number of types, memory defects, which adhere to the progressive laws. The mathematical apparatus, which allows to adequately describe such processes, is the theory of integration-differentiation of the fractional order.

Victorians in robotic thinking have a phenomenological character, so the possibility of their dependence in a specific, practical dermal condition is blamed on the basis of experimental results, so that the validity of other differences is confirmed. Stagnation of the given approach for describing the dynamics of the process of vitality of the two-phase zones and metals and alloys, which solidifies in the minds of a regulated gas vice. Presented in the fractional-differential robotic model of filtration are classified as abnormal diffusion. A characteristic feature of the ryvnyan, which is derived from different types of differential models of filtration, is not the same. With a whole model, they preserve the structure of the classical lines of filtration in the whole order and pass into them in boundary drops, if the order of the other differentiation is old.

Vivchennya yakisnyh authorities otrimanih ivnyans, and also prompts ih numerical decisions ϵ to finish nontrivial zavdanniyi, as vimagayut in the skin okremomu vampad of independent thought.

Селиверстова Татьяна Витальевна - к.т.н., доцент, доцент кафедры информационных технологий и систем, Национальная металлургическая академия Украины.

Селиверстов Вадим Юрьевич - д.т.н., профессор, кафедра литейного производства, Национальная металлургическая академия Украины.

Малая Юлия Анатольевна - доцент кафедры компьютерных наук и инженерии программного обеспечения, Университет таможенного дела и финансов.

Селівьорстова Тетяна Віталіївна - к.т.н., доцент, доцент кафедри інформаційних технологій та систем, Національна металургійна академія України.

Селівьорстов Вадим Юрійович - д.т.н., професор, кафедра ливарного виробництва, Національна металургійна академія України.

Мала Юлія Анатоліївна - доцент кафедри комп'ютерних наук та інженерії програмного забезпечення, Університет митної справи та фінансів.

Selivyorstova Tatjana - candidate of technical science, assistant professor, Department of information technology and systems, The National Metallurgical Academy of Ukraine.

Selivyorstov Vadim - doctor of engineering's sciences, professor, Department of casting production, The National Metallurgical Academy of Ukraine.

Mala Yuliia - associated professor of computer science and software engineering chair, University of Customs and Finance.

ЗМІСТ

CONTENTS

Аджамский С.В., Подольский Р.В., Кононенко А.А.		Adjamskiy S., Podolskiy R., Kononenko A.	
Исследование влияния шероховатости на свойства образцов из стали AISI 316l методом регистрации макролокализационных полей	3	Investigation of plastic properties of AISI 316l steel by method of registration of macrolocalization fields	3
Герасимов В.В., Дружинін Д.І., Карпенко Н.В.		Gerasimov V.V., Druzhynin D.I., Karpenko N.V.	
Навчання нейронної мережі для системи контролю рівня палива транспортних засобів	12	Neural network training for vehicle fuel control system	12
Гладченко В.С.		Hladchenko V.	
Экспериментальные исследования переоборудованного колесного транспортного средства категории М1 в электромобиль	23	Experimental research of a re-equipment wheeled vehicle category M1 into electromobile "	23
Мазуренко В.Б.		Mazurenko V.B.	
Применение средств графического программирования в процессе обучения студентов технических специальностей	35	Using graphic programming tools in technical science students education	35
Морозенко Е.П., Грибанова Н.Ю.		Morozenko O.P., Gribanova N.Y.	
Инновационные подходы и информационные технологии для повышения качества преподавания графических дисциплин для слабослышащих студентов по специальностям «Отраслевое машиностроение» и «Прикладная механика»	43	Innovative approaches and information technologies to improve the quality of teaching graphic disciplines for students with hearing impairments in the specialties "Industrial Engineering" and "Applied Mechanics"	43
Очеретяный А.К. Баклан И.В.		Ocheretianyi O.K. Baklan I.V.	
Анализ современных программных решений для создания проблемно-ориентированных языков программирования	50	Analysis of modern software solutions for creating problem-oriented programming languages	50
Полонская А.Е.		Polonska A.E.	
Информационная технология оценки параметров сплайн-регрессии при обработке данных загрязнения атмосферного воздуха в ГИС «AirNorm»	61	Information technology for estimating spline regression parameters during data processing of air pollution in GIS "AirNorm"	61

Прокоп Ю.В., Трофименко Е.Г., Задерейко А.В. Анализ подходов к преподаванию начального курса программирова- ния в университетах	73	Prokop Yu., Trofymenko O., Zadereyko O. Analysis of approaches in teaching the introductory programming course in universities	73
Федотова Н.А., Скрынник И.А., Осадчий С.И., Трушаков Д.В. Идентификация сигналов как один из этапов синтеза системы авто- матической стабилизации высоты кипящего слоя в зерносушилке	85	Fedotova M., Skrynnik I., Osadchiy S., Trushakov D. Identification of signals as one of the stages of synthesis of the system of automatic stabilization of the height of the fluidized bed in the grain dryer	85
Цвиркун Л.И., Бешта Л.В., Миронов Ю.А. Использование мессенджеров в качестве системы оповещения пользователей локальных систем домашней автоматизации	95	Tsvirkun L., Beshta L., Mironov Y. Using messengers as notification system for the local home automation systems	95
Капітонов О.Г. Кіберфізична система кулоноста- тичного експеримента. Модуль корозійного моніторингу	102	Kapitonov A.G. The cyber-physical system for coulostatic experiment. The corrosion monitoring unit	102
Бахрушин В.Е. Системний підхід до аналізу даних щодо розвитку та прогнозування пандемії	107	Bakhrushin V.E. System approach to data analysis of pandemic development and forecasting	107
Кусий Я.М., Кук А.М. Технологічне успадковування вла- стивостей виробу на стадії ство- рення його життєвого циклу	119	Kusyi Yaroslav, Kuk Andrii Technological inheritability of product properties at the development and production stage of its Life Cycle	119
Скалозуб В.В., Мурашов О.В. Моделювання процесів моніторингу при нерівномірних і нечітких інтервалах спостережень	135	Skalozub V.V., Murashov O.V. Modeling of monitoring processes with uneven and fuzzy observation intervals	135
Селівьорстова Т.В., Селівьорстов В.Ю., Мала Ю.А. Дробно-дифенційний підхід для опису процесу живлення металів і сплавів, що твердіють в умовах регульованого газового тиску	149	Selivyorstova T., Selivyorstov V., Mala Y. Fractional-differential approach to describe the process of feeding metals and alloys solidifying under controlled gas pressure	149

РЕФЕРАТИ

УДК 621.762.8: 004.923

Аджамский С.В., Подольский Р.В., Кононенко А.А. **Исследование влияния шероховатости на свойства образцов из стали AISI 316L методом регистрации макролокализационных полей** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (135). - Днепр, 2021. - С.3 - 11.

Исследования проводились на образцах, изготовленных из порошкового материала - нержавеющей стали AISI 316L мартенситного класса. Испытания для определения механических свойств проводили в соответствии с ISO 6892 на испытательной машине INSTRON. Контроль шероховатости рабочей поверхности проводился с помощью прибора BioBase. По результатам исследований микроструктуры и исследований методом регистрации макролокализационных полей рабочей зоны образцов установлено, что разрушение начиналось с поверхности образцов от микроконцентраторов из-за разной шероховатости.

Библ. 1, ил. 9, табл. 1.

УДК 004.852

Герасимов В.В., Дружинін Д.І., Карпенко Н.В. **Навчання нейронної мережі для системи контролю рівня палива транспортних засобів** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (135). - Днепр, 2021. - С.12 - 22.

Розглянуто машинне навчання глибоких багаторівневих нейронних мереж для вирішення задачі покращення системи контролю рівня палива транспортних засобів. В роботі викладено особливості підготовки і трансформації вихідних даних для використання їх в моделі навчання, описана робота з бібліотекою DeepLearning4j і її переваги для завантаження моделі навчання, показано процес навчання нейронної мережі. В результаті виконаної роботи розроблено модель навчання для визначення рівня палива в баках транспортних засобів, описано особливості запропонованої моделі.

Бібл. 13, рис. 3.

УДК 629.113

Гладченко В.С. **Экспериментальные исследования переоборудованного колесного транспортного средства категории М1 в электромобиль** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (135). - Днепр, 2021. - С.23 - 34.

В работе рассматривается автомобиль ЗАЗ 965 «Запорожец» категории М1, который был переоборудован в батарейный электромобиль. Автомобиль оснащен тяговым электродвигателем Балканкар ДС 3,6/7,5/14, силовой аккумуляторной батареею на литиевых элементах, максимальное напряжение 100,8 В и емкость 6,45 кВт·ч. Система управления тяговым электродвигателем импульсная с электронными силовыми переключателями. Проведено дорожные экспериментальные исследования, определен расход электроэнергии автомобилем при различных скоростях движения, определен коэффициент, характеризующий соотношение потребленной электрической энергии к кинетической энергии автомобиля.

Сопоставление результатов теоретических и экспериментальных исследований свидетельствует про адекватность разработанной математической модели и исходных положений, положенных в основу расчета показателей эффективности использования электрической энергии электромобилями, переоборудованными из серийных автомобилей с ДВЗ.

Библ. 16, ил. 3, табл. 4.

УДК 378.147.88

Мазуренко В.Б. **Применение средств графического программирования в процессе обучения студентов технических специальностей** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (135). - Днепр, 2021. - С.35 - 42.

Рассматриваются практические аспекты использования средств графического программирования в учебном процессе, в частности их применение с целью проведения лабораторных занятий по техническим дисциплинам. Обосновывается выбор системы программирования, рассматриваются варианты начальных занятий, освещается опыт в применении среды Simulink. Указываются преимущества и недостатки данной системы в ракурсе ее использования для учебных целей. Даются рекомендации по последовательности создания и представления студентам на выполнение лабораторных работ на основе графических средств программирования.

Библ. 4, илл. 3.

УДК 378.14 (07) : 004

Морозенко Е.П., Грибанова Н.Ю. **Инновационные подходы и информационные технологии для повышения качества преподавания графических дисциплин для слабослышащих студентов по специальностям «Отраслевое машиностроение» и «Прикладная механика»** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (135). - Днепр, 2021. - С.43 - 49.

В статье поднимается проблема обучения с студентов нарушениями слуха и описывается опыт применения методической системы обучения графическим дисциплинам.

Рассмотрены пути повышения эффективности обучения слабослышащих, показано значение знаний графических дисциплин в техническом образования для этой категории студентов.

Рассматриваются образовательные технологии графических дисциплин с использованием инновационных методов обучения. Приведены инновационные методики чтения лекций и проведения занятий по графическим дисциплинам.

Указываются факторы, способствующие успешному обучению и социализации студентов.

Библ. 5, табл.1.

УДК 004.434

Очеретяный А.К. Баклан И.В. **Анализ современных программных решений для создания проблемно-ориентированных языков программирования** // Системные техноло-

гии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (135). - Днепр, 2021. - С.50 - 60.

В статье приводится сравнительная характеристика некоторых средств для создания проблемно-ориентированных языков программирования. Определены основные критерии для сравнения и предложены критерии не реализованные в описанных средствах. В конце статьи приводятся выводы полученные в результате сравнения и предложения по улучшению существующих инструментов.

Библ. 10, табл. 1.

УДК 519.248:[91+911.8]

Полонская А.Е. **Информационная технология оценки параметров сплайн-регрессии при обработке данных загрязнения атмосферного воздуха в ГИС «AirNorm»** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (135). - Днепр, 2021. - С.61 - 72.

Приведен усовершенствованный метод аппроксимации данных с использованием кусочно-полиномиальной регрессии. Предложенный алгоритм позволяет повысить адекватность определения границ при резком изменении концентрации вредного вещества. Представлены результаты проведения вычислительного эксперимента проведенного по показателям уровня содержания выброса вредного вещества.

Библ. 8, ил. 3.

УДК 004.738.5

Прокоп Ю.В., Трофименко Е.Г., Задерейко А.В. **Анализ подходов к преподаванию начального курса программирования в университетах** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (135). - Днепр, 2021. - С.73 - 84.

Рассматривается важность результативного изучения начального курса программирования (CS1) и потребность учитывать реалии требований, которые ставят перед ИТ-специалистами работодатели сегодня. Акцентируется внимание на актуальности поиска подходов, положительно влияющих на результативность обучения основам программирования, что обусловлено сложностью этого курса для студентов и высоким уровнем отсева уже на первой сессии. В работе проанализированы подходы передовых зарубежных университетов к преподаванию курса по основам программирования CS1. Проведено сопоставление с тенденциями современного рынка ИТ-труда на предмет потребностей корректировки содержания начального курса программирования в учреждениях высшего образования.

Библ. 23.

УДК 631.365.22 + 621.317

Федотова Н.А., Скрынник И.А., Осадчий С.И., Трушаков Д.В. **Идентификация сигналов как один из этапов синтеза системы автоматической стабилизации высоты кипящего слоя в зерносушилке** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (135). - Днепр, 2021. - С.85 - 94.

В работе представлена в широком смысле проблематика синтеза системы автоматической стабилизации высоты кипящего слоя, раскрыто ее значимость для повышения эффективности сушки и показано применение технологии идентификации сигналов зерносушилки с учетом ее особенностей, а именно многомерности и распределенности.

Библ. 6, илл. 5.

УДК 004.7

Цвиркун Л.И., Бешта Л.В., Миронов Ю.А. **Использование мессенджеров в качестве системы оповещения пользователей локальных систем домашней автоматизации** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (135). - Днепр, 2021. - С.95 - 101.

В статье рассматривается вопрос об оповещении пользователей локальных систем домашней автоматизации и предложен подход к решению этой проблемы – использование инфраструктуры мессенджеров в целом и технологии чат-ботов в частности.

Библ. 6.

УДК 004.9:544.6

Капітонов О.Г. **Кіберфізична система кулоностатичного експеримента. Модуль корозійного моніторингу** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (135). - Днепр, 2021. - С.102 – 106.

Кіберфізичний підхід розкриває нові перспективи у рішенні актуальної проблеми комп'ютерізованого корозійного моніторингу. Проаналізовано випадок застосування кулоностатичного метода для визначення швидкості корозії. Виявлено основні проблеми, які стосуються керування поляризацією, рішення рівнянь релаксації, моделювання гідродинамічного режиму.

Бібл. 6

УДК 004.6:519.2:312.2:314.48:616.9

Бахрушин В.Є. **Системний підхід до аналізу даних щодо розвитку та прогнозування пандемії** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (135). - Днепр, 2021. - С.107 – 118.

Проаналізовано дані щодо розвитку пандемії коронавірусної інфекції в Україні та світі. Запропоновано системний підхід, що передбачає залучення до аналізу динаміки захворюваності і смертності разом з офіційною статистикою МОЗ даних інших державних реєстрів, модельних оцінок, результатів пошукових запитів та іншої відкритої інформації.

Бібл. 14, табл. 1.

УДК 621.9.015:621.9.019

Кусий Я.М., Кук А.М. **Технологічне успадковування властивостей виробу на стадії створення його життєвого циклу** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (135). - Днепр, 2021. - С.119 – 134.

Проаналізовано взаємозв'язки технологічного забезпечення регламентованих параметрів якості виробів із етапами та стадіями їх життєвих циклів. Відзначено пріоритетність інформаційного забезпечення сучасного машинобудівного виробництва в

умовах самоорганізації технічних систем при проектуванні технологічних процесів виготовлення деталей машин. Розроблено принципову схему формування параметрів якості виробів із врахуванням усіх етапів стадії створення його життєвого циклу та запропоновано математичну модель для прогнозування імовірності невідбракування $P(t)$ придатних до подальшої експлуатації виробів із врахуванням технологічного успадковування. Подальші дослідження пов'язані з оптимізацією конструктивно-технологічних рішень і структури технологічних процесів із врахуванням технологічної спадковості при раціональному поєднанні заготівельних, проміжних, фінішних і викінчувально-зміцнювальних операцій.

Бібл. 15, іл. 1.

УДК 004.6: 007.5: 004.94

Скалозуб В.В., Мурашов О.В. **Моделювання процесів моніторингу при нерівномірних і нечітких інтервалах спостережень** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (135). - Днепр, 2021. - С.135 – 148.

У статті наведено результати застосування сепарабельної математичної моделі аналізу нечітких часових послідовностей з нерівномірними та нечіткими інтервалами вибірки даних. Представлено дослідження ефективності удосконаленого квантильного алгоритму моделювання. Реалізація моделей послідовностей вимірів з нечітким кроком виконується шляхом застосування підходу на основі α -рівнів. Для скаляризації нечіткого результату застосовувався метод центру ваги. Сепарабельна модель була застосована для моделювання процесів клінічного моніторингу стану хворих на діабет.

Бібл. 16.

УДК 004.94: 517.9

Селівьорстова Т.В., Селівьорстов В.Ю., Мала Ю.А. **Дробно-дифенційний підхід для опису процесу живлення металів і сплавів, що твердіють в умовах регульованого газового тиску** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (135). - Днепр, 2021. - С.149 – 155.

Для опису процесів фільтрації в складних дендритно-пористих середовищах запропонований ряд дробно-диференціальних математичних моделей дифузійного типу. Описано нелінійне рівняння, що містить дробові похідні Рімана-Ліувілля за часом, яке може бути застосовано для коректного опису однофазної фільтрації неньютонівської рідини в пористому середовищі.

Бібл. 16.

UDC 621.762.8: 004.923

Adjamskiy S., Podolskiy R., Kononenko A. **Investigation of plastic properties of AISI 316L steel by method of registration of macrolocalization fields** // System technologies. N 4(135) - Dnipro, 2021.- P.3 – 11.

The studies were performed on samples made of powder material - stainless steel AISI 316L martensite class. Tests to determine mechanical properties were performed in accordance with ISO 6892 on an INSTRON test machine. Work surface roughness was monitored using a BioBase instrument. According to the results of microstructure studies and studies by the method of registration of macrolocalization fields of the working zone of the samples, it was found that the destruction began from the surface of the samples from microconcentrators due to different roughness.

Bibl. 1, ill. 9, table. 1.

UDC 004.852

Gerasimov V.V., Druzhynin D.I., Karpenko N.V. **Neural network training for vehicle fuel control system** // System technologies. N 4(135) - Dnipro, 2021.- P.12 – 22.

Machine learning of deep multilevel neural networks for solving the problem of improving the vehicle fuel level control system is considered. The paper outlines the features of the preparation and transformation of the initial data for use in the learning model, describes the work with the DeepLearning4j library and its advantages for loading the learning model, and shows the neural network learning process. As a result of the work performed, a training model was developed for determining the fuel level in the tanks of vehicles, the features of the proposed model are described.

Bibl. 13, fig. 3.

UDC 629.113

Hladchenko V. **Experimental research of a re-equipment wheeled vehicle category M1 into electromobile** // System technologies. N 4(135) - Dnipro, 2021.- P.23 – 34.

Ensuring the required indicators of traction and speed properties of electric vehicles is a difficult task and requires a more detailed assessment due to the great difficulties in finding the initial data and internal parameters of the system. The presented article considers the vehicle ZAZ 965 "Zaporozhets" of category M1, which was re-equipment into a battery electromobile. The vehicle is equipped with a traction electric motor Balkankar DS 3.6/7.5/14, a power storage battery with lithium cells, a maximum voltage of 100.8 V and a capacity of 6.45 kW·h. The traction motor control system is impulse with electronic power switches. Traction motor power is controlled by a controller that changes the pulse-width modulation (PWM) depending on the control signal from the control unit and the logic of the system. The change in PWM signal also occurs when the thermal protection is triggered, and in the event of a voltage drop on the power storage battery.

Experimental road studies have been carried out, electricity consumption by a vehicle at various speeds has been determined, a coefficient has been determined that characterizes the ratio of consumed electrical energy to the kinetic energy of a vehicle. Comparison of the results of theoretical and experimental studies testifies to the adequacy of the developed

mathematical model and the initial provisions underlying the calculation of the indicators of the efficiency of the use of electric energy by electromobile re-equipment from common vehicle with ICE.

Bibl.16, fig. 3, tab. 4.

UDC 378.147.88

Mazurenko V.B. **Using graphic programming tools in technical science students education** // System technologies. N 4(135) - Dnipro, 2021.- P.35 – 42.

The article is devoted to practical aspects of using graphic programming tools in the educational process, and, particularly, to their application for performing laboratory classes in technical disciplines. It is argued the selection of programming system, the variations of beginning lessons are considered, the experience in using the such system as Simulink is revealed. The advantages and disadvantages of the selected system are indicated from the point of view of its application to educational process. There are some recommendations for building the sequence of laboratory classes on the base of graphic programming tools.

Ref. 4, fig. 3.

UDC 378.14 (07) : 004

Morozenko O.P., Griбанова N.Y. **Innovative approaches and information technologies to improve the quality of teaching graphic disciplines for students with hearing impairments in the specialties "Industrial Engineering" and "Applied Mechanics"** // System technologies. N 4(135) - Dnipro, 2021.- P.43 – 49.

The article raises the problem of teaching hearing impaired and describes the experience of the application of methodical system of training to graphic disciplines.

Ways to increase the efficiency of training for people with hearing impairments are considered, the importance of knowledge of graphic disciplines in the technical education for this category of students is shown.

The educational technologies of graphic disciplines using innovative teaching methods are described. The innovative methods of lecturing and conducting classes in graphic disciplines are given.

Factors that contribute to the successful learning and socialization of students are indicated.

Ref. 5.

UDC 004.434

Ocheretianyi O.K. Baklan I.V. **Analysis of modern software solutions for creating problem-oriented programming languages** // System technologies. N 4(135) - Dnipro, 2021.- P.50 – 60.

The article provides a comparative description of some tools for creating problem-oriented programming languages. The main criteria for comparison are defined and the criteria which are not realized in the described means are offered. The article concludes with a comparison and suggestions for improving existing tools.

Ref. 10, tab. 1.

UDC 519.248:[91+911.8]

Polonska A.E. **Information technology for estimating spline regression parameters during data processing of air pollution in GIS "AirNorm"** // System technologies. N 4(135) - Dnipro, 2021.- P.61 – 72.

An improved method of data approximation using piecewise polynomial regression is presented. The proposed algorithm makes it possible to increase the adequacy of the definition of boundaries with a sharp change in the concentration of the harmful substance. The results of a computational experiment conducted on the indicators of the level of emissions of harmful substances are presented.

Bibl. 8, ill. 3.

UDC 004.738.5

Prokop Yu., Trofymenko O., Zadereyko O. **Analysis of approaches in teaching the introductory programming course in universities** // System technologies. N 4(135) - Dnipro, 2021.- P.73 – 84.

The article discusses the importance of effective study of the initial programming course and the need to take into account the realities of the requirements that employers put before IT professionals today. Attention is focused on the relevance of the search for approaches that positively affect the effectiveness of teaching the basics of programming, which is due to the complexity of this course for students and the high dropout rate at the first session. The paper analyzes the approaches of leading foreign universities to teaching the basics of programming. The trends of the modern IT labor market have been studied for the need to adjust the content of the initial programming course in universities.

Bibl. 23.

UDC 631.365.22 + 621.317

Fedotova M., Skrynnik I., Osadchiy S., Trushakov D. **Identification of signals as one of the stages of synthesis of the system of automatic stabilization of the height of the fluidized bed in the grain dryer** // System technologies. N 4(135) - Dnipro, 2021.- P.85 – 94.

The paper presents in a broad sense the problems of synthesis of the system of automatic stabilization of the fluidized bed height, reveals its importance for improving drying efficiency and shows the application of signal identification technology of the dryer taking into account its features, namely multidimensionality and distribution.

Bibl. 6, ill. 5.

UDC 004.7

Tsvirkun L., Beshta L., Mironov Y. **Using messengers as notification system for the local home automation systems** // System technologies. N 4(135) - Dnipro, 2021.- P.95 – 101.

In this paper, we consider the issue of notifying local home automation systems users and we propose an approach – to use messengers' infrastructure and the chat-bot technologies integrated into it.

Bibl. 6.

UDC 004.9:544.6

Kapitonov A.G. **The cyber-physical system for coulstatic experiment. The corrosion monitoring unit** // System technologies. N 4(135) - Dnipro, 2021.- P.102 – 106.

Cyber-physical approach shows new perspectives in solution of actual problem of computerized corrosion monitoring. It was analyzed for special case of the coulstatic technique used for determination of corrosion rate. Basic problems concerning polarization control, computing of relaxation equations, simulation of hydrodynamic mode were revealed.

Bibl. 6.

UDC 004.6:519.2:312.2:314.48:616.9

Bakhrushin V.E. **System approach to data analysis of pandemic development and forecasting** // System technologies. N 4(135) - Dnipro, 2021.- P.107 – 118.

Data on the development of the Covid-19 pandemic in Ukraine and the world are analyzed. A system approach is proposed, which provides involvement the official statistics of the Ministry of Health as well as the data of other state registers, model estimates, search queries and other open information for the analysis of the dynamics of morbidity and mortality.

Bibl.14, Table 1.

UDC 621.9.015:621.9.019

Kusyi Yaroslav, Kuk Andrii **Technological inheritability of product properties at the development and production stage of its Life Cycle** // System technologies. N 4(135) - Dnipro, 2021.- P.119 – 134.

The relationships of technological providing of standart quality parameters of products with the substages and stages of their Life Cycles is analyzed. The priority of information support of mechanical engineering production in the conditions of self-organization of technical systems at designing of technological processes of products manufacturing is noted. The basic scheme of formation of products quality parameters taking into account all substages of development and production stage of its Life Cycle is developed. The mathematical model for predicting the probability of non-defect production $P(t)$ of products suitable for further operation, taking into account technological inheritability, is proposed. The directions of further research are selected.

Ref. 15, ill. 1.

UDC 004.6: 007.5: 004.94

Skalozub V.V., Murashov O.V. **Modeling of monitoring processes with uneven and fuzzy observation intervals** // System technologies. N 4(135) - Dnipro, 2021.- P.135 – 148.

The paper presents the results of applying a separable mathematical model for analyzing fuzzy time series with uneven and fuzzy data sampling intervals. The study of the efficiency of an advanced quantile modeling algorithm is presented. The implementation of models of measurement sequences with fuzzy steps is conducting by applying the approach based on - levels. The center of weight method was used for scalarization the fuzzy result. A separable model was used for modeling the processes of clinical monitoring of patients with diabetes.

Ref. 16.

UDC 004.94: 517.9

Selivyorstova T., Selivyorstov V., Mala Y. **Fractional-differential approach to describe the process of feeding metals and alloys solidifying under controlled gas pressure** // System technologies. N 4(135) - Dnipro, 2021.- P.149 – 155.

To describe filtration processes in complex dendritic-porous media, a number of fractional-differential mathematical models of diffusion type have been proposed. A nonlinear equation is described containing fractional Riemann-Liouville derivatives with respect to time, which can be used to correctly describe the single-phase filtration of a non-Newtonian fluid in a porous medium.

Fig. 0, Table. 0, Lit. 14.

Системні технології

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

Випуск 4 (135)

Головний редактор: к.т.н., доц. Т.В. Селівьорстова

Технічний редактор та секретар збірки: к.т.н., доц. К.Ю. Островська

Здано до набору 22.03.2021. Підписано до друку 19.07.2021.

Формат 60x84 1/16. Друк - різнограф. Папір типограф.

Умов. друк арк. – 11,785. Обл.-видавн. арк. – 10,313.

Тираж 300 прим. Замовл. – 04/21

Національна металургійна академія України,
кафедра Інформаційних технологій та систем: ІВК «Системні технології»
49600, Дніпро, а/с 493

<http://st.nmetau.edu.ua>

Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації:

Серія КВ № 8684 від 23 квітня 2004 рік

Редакційна колегія

Селівьорстова Тетяна Віталіївна
(головний редактор)

доцент, кандидат технічних наук

Алпатов Анатолій Петрович

Член-кореспондент НАН України,
професор, доктор технічних наук

Архипов Олександр Євгенійович

професор, доктор технічних наук

Бабічев Сергій Анатолійович

доцент, доктор технічних наук

Білозьоров Василь Євгенович

професор,

доктор фізико-математичних наук

Гече Федір Елемирович

професор, доктор технічних наук

Гуда Антон Ігорович

(заст. головного редактора)

професор, доктор технічних наук

Гнатушенко Вікторія Володимирівна

(вчений секретар)

професор, доктор технічних наук

Гнатушенко Володимир Володимирович

професор, доктор технічних наук

Гожий Олександр Петрович

професор, доктор технічних наук

Єрьомін Олександр Олегович

професор, доктор технічних наук

Кіріченко Людмила Олегівна

професор, доктор технічних наук

Світличний Дмитро Святозарович

професор, доктор технічних наук

Скалозуб Владислав Васильович

професор, доктор технічних наук

Хандецький Володимир Сергійович

професор, доктор технічних наук

Національна металургійна
академія України, Україна

Інститут технічної механіки

НАНУ і ДКАУ, Україна

Національний технічний університет

України «Київський політехнічний інститут»
імені Ігоря Сікорського», Україна

Jan Evangelista Purkyně University
in Ústí nad Labem

Університет імені Яна Євангеліста Пуркіне,
Усті над Лабем, Чеська Республіка

Дніпровський національний університет
імені Олеся Гончара, Україна

Ужгородський національний університет,
Україна

Національна металургійна
академія України, Україна

Національна металургійна
академія України, Україна

Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка», Україна

Чорноморський національний університет
імені П.Могили, Україна

Національна металургійна
академія України, Україна

Харківський національний університет
радіоелектроніки, Україна

Akademia Górniczo-Hutnicza

Краківська гірничо-металургійна академія
ім. С. Сташці, Польща

Дніпропетровський національний
університет залізничного транспорту імені
академіка В. Лазаряна, Україна

Дніпровський національний університет
імені Олеся Гончара, Україна